

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INGENIERÍA AGRONÓMICA



TESIS DE GRADO

**CUANTIFICACIÓN DE LA EROSIÓN EÓLICA EN EL MUNICIPIO DE QUILLACAS,
PROVINCIA AVAROA, DEPARTAMENTO DE ORURO**

Presentada por:

ISRAEL NITAY ROMERO SALAZAR

LA PAZ – BOLIVIA

2015

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**CUANTIFICACIÓN DE LA EROSIÓN EÓLICA EN EL MUNICIPIO DE
QUILLACAS, PROVINCIA AVAROA, DEPARTAMENTO DE ORURO**

Tesis de Grado presentada como
requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Agrónomo

ISRAEL NITAY ROMERO SALAZAR

ASESORES:

Ing. Ph. D. Vladimir OrsagCéspedes

Ing. M. Sc. Jorge Pascuali Cabrera

TRIBUNALES:

Ing. Ph. D. René Chipana Rivera

Ing. M. Sc. Eduardo Chilón Camacho

Ing. Bernardo Ticona Contreras

Presidente Tribunal Examinador

La Paz – Bolivia

2015

AGRADECIMIENTOS

A Dios sobre todo.

A mis Asesores: Jorge Pascuali y Vladimír Orsag.

A los compañeros del Santuario de Quíllacas, especialmente a la Sra. Valentina.

A mi UMSA, Facultad de Agronomía.

A mi asesora adjunta: mi novia, Eliana Espejo.

A mis amigos: Daniela, Cristian, Dennis, Emmanuel.

A mis hermanos: Ricardo, Alejandro, Gustavo, Reynaldo.

A mis amigos docentes: Dra. Carmen del Castillo, Ing. Goitia, Ing. Rojas, Ing. Ruiz, Ing. Maldonado, Ing. Calatayud.

A mi diseñador gráfico Augusto Romero Salazar (Chompi).

A mi excavadora de calícatas Laura Romero Salazar (Lolita).

A mis abuelitas Delia Cabrera y Clotilde Cabrera.

A mi mosca Dana la cubana.

A Maxichín

Pero, especialmente a mi madre, Jaqueline Salazar Cabrera.

Muchas Gracias.

Israel N. Romero Salazar

Dedicado a:

*Mi hermosa mamá,
por su esfuerzo, su
valentía, sus consejos
y paciencia.*

Para vos mamá

Jaque!!!

Índice General

I.	INTRODUCCIÓN	5
II.	OBJETIVOS.....	7
2.1.	Objetivo General	7
2.2.	Objetivos Específicos	7
III.	REVISIÓN DE LITERATURA	8
3.1.	La Erosión en Bolivia.....	8
3.2.	La Erosión Eólica	8
3.2.1.	El transporte de las partículas del suelo	9
3.2.2.	Efectos del movimiento de las partículas.....	11
3.2.3.	Efectos de la erosión eólica sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.....	12
3.3.	Factores que intervienen en el proceso de erosión eólica	13
3.4.	Estimación de la Pérdida de Suelo	13
3.4.1.	Modelo de la Erosión Eólica	13
3.4.2.	Factores que favorecen el Proceso de Erosión Eólica	13
3.5.	Características Generales de la Explotación Agrícola en el Municipio de Quillacas	17
3.5.1.	Agricultura Tradicional	17
3.5.2.	Agricultura Convencional.....	19
3.5.3.	Agricultura Orgánica	20
3.5.4.	Ventajas y desventajas de un sistema de producción tradicional, de un sistema de producción convencional y de un sistema de producción orgánico ..	21
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS	23
4.1.	Descripción del área de estudio	23
4.1.1.	Ubicación Geográfica	23
4.1.2.	Clima	24
4.1.3.	Temperatura	25
4.1.4.	Precipitación	25
4.1.5.	Vientos.....	26

4.1.6.	Geología	26
4.1.7.	Fisiografía	26
4.1.8.	Topografía	27
4.1.9.	Hidrología	27
4.1.10.	Altitud.....	27
4.1.11.	Relieve.....	27
4.1.12.	Suelo	28
4.1.13.	Flora	28
4.1.14.	Fauna	29
4.2.	Materiales.....	29
4.3.	Metodología	30
4.3.1.	Procedimiento “ <i>in situ</i> ”	30
4.3.2.	Procedimiento mediante la Ecuación de la Erosión Eólica (<i>Wind Erosion Equation, WEQ</i>).....	37
4.3.3.	Caracterización del Sistema Productivo	43
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
5.1.	Análisis de los vientos	44
5.2.	Análisis del material erosionado por el viento	50
5.2.1.	Cuantificación <i>in situ</i>	50
5.2.2.	Proyección mediante la Ecuación de la Erosión Eólica (<i>Wind Erosion Equation, WEQ</i>).....	54
5.3.	Caracterización de los Sistemas de Producción	57
5.3.1.	Caracterización del Sistema Productivo de la Quinua	57
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	60
6.1.	Conclusiones.....	60
6.2.	Recomendaciones.....	62
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

Índice de Tablas

Tabla 1. Escala de Beaufort de la Fuerza de los Vientos	15
Tabla 2. Ventajas y Desventajas del Sistema de Producción Tradicional	21
Tabla 3. Ventajas y Desventajas del Sistema de Producción Convencional.....	22
Tabla 4. Ventajas y Desventajas del Sistema de Producción Orgánico	22
Tabla 5. Temperaturas promedio (°C) Santuario de Quillacas	25
Tabla 6. Precipitaciones Total Mensual (mm) Santuario de Quillacas	25
Tabla 7. Velocidad Media del Viento (km h^{-1}) Santuario de Quillacas.....	26
Tabla 8. Flora de la Sección Municipal Santuario de Quillacas.....	28
Tabla 9. Fauna de la Sección Municipal Santuario de Quillacas.....	29
Tabla 10. Velocidad Media del Viento (km h^{-1}), mes de junio por días a 150, 50 y 13,5 cm sobre el nivel del suelo	44
Tabla 11. Dirección, duración y velocidades máximas de los vientos en el mes de junio.....	45
Tabla 12. Velocidad Media del Viento (km h^{-1}) mes de julio por días a 150, 50 y 13,5 cm sobre el nivel del suelo	46
Tabla 13. Dirección, duración y velocidades medias máximas de los vientos en el mes de julio	47
Tabla 14. Velocidad Media del Viento (km h^{-1}), mes de agosto por días a 150, 50 y 13,5 cm sobre el nivel del suelo	48
Tabla 15. Dirección, duración y velocidades medias máximas de los vientos en el mes de agosto.....	49
Tabla 16. Cantidad de Material Recolectado Promedio (kg mes^{-1}) en un punto de muestreo a 13,5; 50 y 150 cm de altura en los tres meses de medición	50
Tabla 17. Cantidad de material erosionado en cada punto de muestreo (Q_p) y Erosión ocurrida en el total de la parcela (Q), para el mes de junio.	51

Tabla 18. Cantidad de material erosionado en cada punto de muestreo (Q_p) y Erosión ocurrida en el total de la parcela (Q), para el mes de julio.	52
Tabla 19. Cantidad de material erosionado en cada punto de muestreo (Q_p) y Erosión ocurrida en el total de la parcela (Q), para el mes de agosto.	53
Tabla 20. Erosión Total (Q), en los tres meses de estudio.	54
Tabla 21. Evaluación de la Erosión Eólica potencial (E_3) de acuerdo a la rugosidad de la superficie del suelo (K) y el clima de la zona de estudio (C).	56
Tabla 22. Clases de erosión (FAO, 2000).	56
Tabla 23. Clasificación de los Sistemas de Producción en la región de estudio	57

Índice de Figuras

Figura 1. Los tres tipos de transporte eólico de partículas	9
Figura 2. Ubicación geográfica de la zona de estudio.....	23
Figura 3. Distancia entre la ciudad de Oruro y el Santuario de Quillacas	24
Figura 4. Ubicación de la Parcela de Estudio.....	24
Figura 5. Tamaño y Ubicación de la parcela de estudio.....	31
Figura 6. Estructura del Colector BSNE (Fryrear, 1986)	31
Figura 7. Estructura del Recipiente BSNE (Fryrear, 1986).....	32
Figura 8. Colectores de partículas <i>Big Spring Number Eight (BSNE)</i>	32
Figura 9. Estructura y Altura de los colectores <i>Big Spring Number Eight(BSNE)</i>	33
Figura 10. Orientación Espacial de los Colectores <i>Big Spring Number Eight (BSNE)</i>	33
Figura 11. Torre de medición de viento	34
Figura 12. Dirección y velocidad de los vientos en el mes de junio por días.....	44
Figura 13. Dirección y velocidad de los vientos en el mes de julio por días	46
Figura 14. Dirección y velocidad de los vientos en el mes de agosto por días.....	48
Figura 15. Cantidad de Material Transportado en función a la Altura del Colector ...	51

Cuantificación de la Erosión Eólica en el Municipio de Quillacas, Provincia Avaroa, Departamento de Oruro

Israel N. Romero Salazar

Resumen

El presente estudio fue realizado en el Municipio de Quillacas, zona del perisalar, llamada así por estar entre el salar de Coipasa y el de Uyuni, dicha región en los últimos años, está siendo ampliada la superficie de siembra del cultivo de la quinua, dejando los productores de lado el buen y adecuado manejo del suelo, desgastando y haciéndole perder la poca materia orgánica que estos contienen, dejándoles susceptibles a la erosión eólica.

La Erosión Eólica, se ve incrementada por varios factores: vientos fuertes, escasa precipitación, escasa cobertura vegetal, topografía y un mal manejo del suelo.

Para la cuantificación de la Erosión Eólica, se delimitó una parcela de 1 ha donde fue necesario instalar una torre de medición de viento, que consta de tres anemómetros de cazoletas y una veleta, construida con materiales reciclados y de bajo costo, además de la instalación de doce colectores de partículas *Big Spring Number Eight (BSNE)* distribuidos en cuatro grupos de tres en los laterales de la parcela. Tanto los colectores como la torre de medición de viento, fueron construidos como una alternativa al alto costo del equipo original.

En primera instancia, el estudio consistió en realizar una identificación de la dirección predominante de los vientos así como su velocidad.

Posteriormente, se procedió a cuantificar la cantidad de material que es transportado por el viento mediante los colectores *Big Spring Number Eight (BSNE)*, esto para determinar el flujo de masa en el total de la parcela.

Además se realizó una proyección anual de la erosión mediante la Ecuación de la Erosión Eólica (*Wind Erosion Equation, WEQ*).

Finalmente, se realizó una caracterización de los sistemas de producción predominantes en la región y si tienen relación con la Erosión Eólica.

Los vientos en la región de estudio tienen una preponderancia de la dirección de Norte y Oeste, siendo además todos superiores, respecto a su velocidad, a la velocidad umbral teórica de 14 km h^{-1} . Siendo el viento un factor importante respecto a la Erosión Eólica, la cantidad de suelo erosionado es de $31,39 \text{ Tn ha}^{-1}$ en los tres meses de estudio, significando $0,18 \text{ cm ha}^{-1}$ de suelo.

Realizando la proyección anual, la Erosión Eólica esperada estuvo entre $159,17 \text{ Tn ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, con una clase de erosión Alta según la clasificación de la FAO (1979).

Además, con la expansión del cultivo de la quinua, se han introducido técnicas que representan desde el punto de vista de la sostenibilidad a una elevada reducción de la resiliencia de las condiciones naturales favorables, que conlleva a mayores tasas de erosividad.

Quantification of wind erosion in the Quillacas municipality, Avaroa province, Oruro department.

Israel N. Romero Salazar

Summary

This study was conducted in the Quillacas municipality, area perisalar, so named for being among the salarCoipasa and Uyuni, this region in recent years, is being expanded crop area of cultivation of quinoa, leaving producers aside the good soil management, wearing and wasting what little organic matter they contain, leaving them susceptible to wind erosion.

Wind erosion is enhanced by several factors: strong winds, low rainfall, sparse vegetation cover, topography and poor soil management.

For quantification of wind erosion, a plot of 1 hectare where it was necessary to install a wind measurement tower, consisting of three cup anemometers and vane, built from recycled materials and inexpensive, plus the installation was delimited by 12 Big Spring Number Eight particle traps, distributed in four groups of three on the sides of the plot. Both collectors as the wind tower, was built as an alternative to the high cost of original equipment.

First, the study was to conduct an identification of the predominant wind direction as well as speed.

Then he proceeded to quantify the amount of material being transported by the wind through Big Spring Number Eight collectors, this to determine the total mass flow of the parcel.

Furthermore, an annual projection was made by erosion from wind erosion equation.

Finally, a characterization of predominant systems was carried out in the region and if it relates to wind erosion.

Wind in the región of study have a preponderance of the direction of north and west, all of superior speed compared to the theoretical speed threshold of 14 km h^{-1} , Wind being a factor with respect to wind erosion, the amount of soil it eroded is $31,39 \text{ Tn ha}^{-1}$, within three monts of study, meaning $0,18 \text{ cm ha}^{-1}$ of soil.

Making the anual projection, wind erosi3n was expected between $159,17 \text{ Tn ha}^{-1}$, with a high erosion class clasification according to FAO (1979).

Moreover, with the expansi3n of cultivation of quinoa, they have been introduced techniques that represent from the point of view of sustainability to a high reduction of the resilience of the favorable natural conditions, leading to higher rates of erosivity.

I. INTRODUCCIÓN

En el mundo hay más de 900 millones de personas en más de 100 países que están siendo afectadas por la degradación de las áreas secas que comprenden más del 25% del área de la tierra y que está ocurriendo a un índice acelerado(ONU, 1994).

Uno de los problemas que de manera alarmante se agrava es la pérdida de suelo por erosión hídrica y eólica, que tiene como factores condicionantes el clima, topografía y edafología, así como también las condiciones socio económicas(Aquino, 2005).

Bolivia, con 1.098.581 km² de territorio, de los cuales el 12% corresponden al altiplano y este a su vez se divide en norte, central y sud. La región del altiplano sud se caracteriza por fuertes limitaciones ambientales, la pluviometría tiene un promedio de 370 mm anuales, una corta duración de la época de lluvias (60 – 80 días), una evaporación potencial muy alta (más de 4 mm por día) y heladas que pueden durar al menos 200 días, temperaturas de 22,3°C en el día y 3,8°C bajo cero por la noche, con vientos superiores a los 40 km h⁻¹ en temporada de fuertes vientos (meses de julio, agosto, septiembre). Los suelos son de textura arenosa y de contenidos muy bajos en materia orgánica y nutrientes (Acho, 2011).

La zona del perisalar, que en su mayor extensión se cultiva quinua y papa, confronta un problema con la intensificación de la producción agrícola, venida a más por el auge de la quinua, de esta manera el manejo que se le da al recurso suelo deja mucho que desear, así como el mal manejo del suelo y las condiciones climáticas contribuyen al aceleramiento de la erosión eólica, dando lugar a una baja producción y productividad(Acho, 2011).

En muchas comunidades del altiplano sud, se han incorporado miles de hectáreas a la producción de quinua, sin tomar en cuenta ninguna recomendación técnica, se continúa con la quema de los arbustos en la habilitación de terrenos nuevos de cultivo, no se dejan barreras vivas, se han roturado suelos en colinas suaves, en planicies, etc., dejando en muchos casos planicies extensas sin vegetación (Aroni, 2003).

El uso de tractor en las zonas quinueras del altiplano sud, ha permitido cultivar la quinua extensivamente, pero también ha contribuido al deterioro de los suelos (Terceros, 1994).

Debido a la alta demanda de quinua que existe en el mercado internacional, como también a los elevados costos en el mercado, se está produciendo una masificación de su cultivo en grandes extensiones con ayuda de maquinaria agrícola (tractores y arado de discos), esta ampliación de la frontera agrícola hacia las tierras de pastoreo (pampas con tholares), está produciendo que grandes extensiones de terreno queden descubiertas, tanto después del barbechado (enero a marzo) como luego de la cosecha de la quinua (marzo a abril), épocas que coinciden con los meses secos del año y cuando la acción de los vientos es mayor, provocando la erosión de los suelos (Orsag, *et.al.*, 2013).

Las anteriores apreciaciones, nos permiten estudiar los factores de la erosión eólica, así como su evaluación, que son importantes en el conocimiento de la pérdida de suelo, así como el planteamiento de alternativas tendentes a su disminución. El estudio se realizó en la comunidad del Santuario de Quillacas, Provincia Avaroa del departamento de Oruro.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Determinar la magnitud de la Erosión Eólica en el Municipio de Quillacas, Provincia Avaroa, Departamento de Oruro.

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar la dirección y velocidad de los vientos erosivos en la zona de estudio, mediante la construcción e instalación de una torre meteorológica.
- Determinar la cantidad de material erosionado *in situ*, por medio de colectores *Big Spring Number Eight (BSNE)*.
- Realizar una proyección anual de la erosión mediante la Ecuación de la Erosión Eólica (*Wind Erosion Equation, WEQ*).
- Caracterizar los sistemas de producción en el área de estudio

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. La Erosión en Bolivia

Bolivia, cuenta con alrededor del 82% de tierras de pastos y bosques, estando afectada por erosión eólica 35% e hídrica 45% (FAO, 2000).

La desertificación en Bolivia es también significativa en regiones como el Altiplano, los Valles y el Chaco, pero especialmente en el altiplano sur, debido a los cambios socioeconómicos de los productores, hay más deforestación y pérdida de cobertura vegetal y acelerada erosión de suelos (Aroni y Bonifacio, 2003).

3.2. La Erosión Eólica

La erosión eólica es un problema ambiental serio en muchas regiones del mundo. La presencia de extensos depósitos eólicos de distintas edades geológicas indicaría que no se trata de un fenómeno reciente. La erosión eólica ocurre en una gran variedad de ambientes que tienen en común la presencia de material fino, suelto y seco, extensas áreas con una superficie poco rugosa, desprovista de cobertura vegetal, donde predominan fuertes vientos (Rostagno, *et.al.*, 2002).

La erosión del suelo es un proceso geológico normal de la evolución del paisaje que se manifiesta con mayor intensidad en ambientes áridos y semiáridos (Aimar y Buschiazzo, 1996).

Por definición, la erosión eólica es el retiro del material del suelo, mientras que la sedimentación es la deposición de este material (Sterk, 2011).

La erosión eólica es la pérdida superficial del suelo, por el desplazamiento uniforme por deflación o debido a la deformación del terreno presente, por desplazamientos desiguales, caracterizados de grandes hondonadas y montículos o dunas (Hinojosa y Rojas, 2009).

La erosión eólica es el proceso por el cual el viento fuerza al movimiento de las partículas del suelo.(Parigiani, 2009)

La erosión eólica, en comparación con la erosión hídrica, es uno de los principales problemas de la degradación del suelo en las zonas áridas y semi áridas(Dregne, 1991).

La erosión eólica puede alterar la fertilidad física y química de los suelos (Lyles y Tatarko, 1986), afectando el rendimiento de los cultivos(Ambrust, 1984).

3.2.1. El transporte de las partículas del suelo

La movilización de partículas se produce solamente cuando las fuerzas aerodinámicas (desestabilizadoras) superan la magnitud de las fuerzas estáticas, que mantienen a las partículas agrupadas y adheridas a la superficie del suelo (Aimar y Buschiazzo, 1996).

Una vez puestas en movimiento por el viento, las partículas son transportadas y nuevamente sedimentadas a mayor o menor distancia. De acuerdo con su diámetro pueden ser transportadas por rodadura, saltación y suspensión (Aimar y Buschiazzo, 1996). (Figura 1).

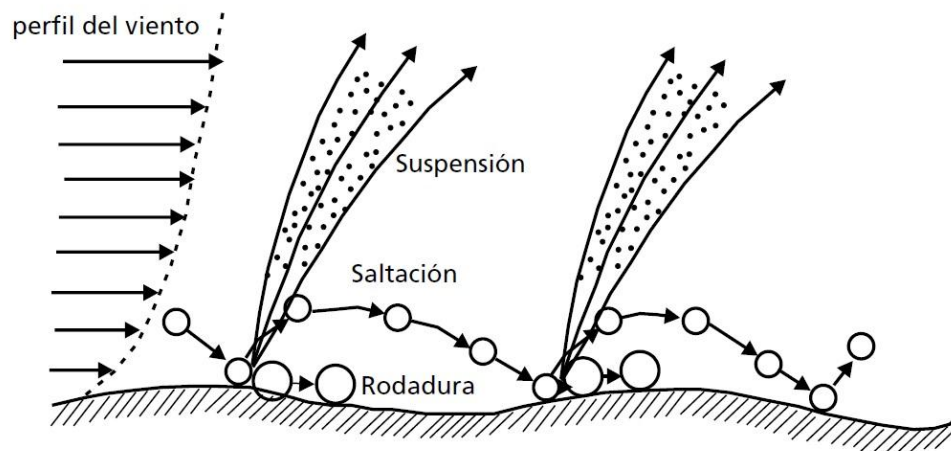


Figura 1. Los tres tipos de transporte eólico de partículas (Aimar y Buschiazzo, 1996)

a. Saltación

Es el tipo inicial de transporte de las partículas luego de que las mismas han sido movilizadas desde la superficie del suelo.

Estas partículas, obviamente, deberán tener un diámetro definido. Si son muy pequeñas se ubicaran sobre la superficie del suelo pero por debajo de la capa límite, zona que posee un movimiento laminar del aire que no producirá su movimiento. Si por el contrario, si son muy grandes y pesadas, las velocidades del viento no serán suficientes para elevarlas y solamente se podrán mover por rodadura. Por esta razón, las partículas transportadas por saltación poseen un diámetro definido, que oscila entre 50 y 500 μm (Aimar y Buschiazzo, 1996).

Las partículas movilizadas por saltación impactan en el suelo y transfieren un movimiento de salto a las que se encuentran en la superficie. En general, 60% del material se moviliza por saltación a una altura menor a 5 cm, 40% a una altura menor a 30 cm y sólo el 1% supera el metro de altura. La distancia recorrida varía entre 12 a 25 veces la altura máxima alcanzada (Cooke, *et.al.*, 1993).

El impacto de una partícula en el suelo consume el 60% de energía para el rebote de la misma partícula, un 40% para deformar y reacomodar otras partículas y sólo 1% para movilizarlas (Aimar y Buschiazzo, 1996).

La saltación es por lejos la forma de transporte de las partículas más importante, ya que no sólo provoca los movimientos de suspensión y rodadura, sino que también representa el 50 al 75% del total del material transportado por el viento y es el principal causante del proceso de abrasión y rompimiento de agregados del suelo (Aimar y Buschiazzo, 1996).

b. Rodadura

Es el transporte de las partículas que se realiza sin un despegue de las mismas de la superficie del suelo. Solamente las de un diámetro mayor a 500 μm se movilizan de esta forma. Un 5 a un 25% de las partículas se transportan por rodadura (Chepil, 1945).

Las partículas transportadas de esta forma aparentan formar parte de un proceso pasivo de erosión, de relativa baja magnitud, de corto recorrido y poca influencia destructiva. Sin embargo, estas partículas también pueden producir abrasión, corroyendo agregados del suelo u otros elementos como rocas o construcciones, pueden transformarse en partículas o agregados más pequeños y ser transportados por saltación, e incrementar de esta forma su poder destructivo (Aimar y Buschiazzo, 1996).

c. Suspensión

Es el transporte por flotación en el aire de las partículas pequeñas ($<100 \mu\text{m}$) que se genera por el impacto de otras movilizadas por saltación sobre la superficie del suelo. El transporte de las partículas movilizadas por suspensión puede alcanzar algunos kilómetros de altura y varios centenares de kilómetros de distancia. Si la turbulencia del viento es lo suficientemente elevada, las partículas transportadas de esta forma pueden llegar a formar las tormentas de polvo. En general, aproximadamente un 3 a un 40% de las partículas son transportadas en suspensión (Chepil, 1945).

3.2.2. Efectos del movimiento de las partículas

La erosión eólica del suelo involucra a la movilización (o deflación), el transporte, la abrasión, la selección y la deposición de agregados o partículas individuales (Aimar y Buschiazzo, 1996).

Los más importantes son:

a. Abrasión

La susceptibilidad a la abrasión de un material puede definirse como la masa de ese material abrasada por unidad de masa de partículas que impactan sobre el mismo (Hagen, 1984).

b. Selección

El viento produce una remoción selectiva de partículas del suelo debido a que las mismas se mueven de diferente forma en las diferentes condiciones de flujo de aire (Aimar y Buschiazzo, 1996).

3.2.3. Efectos de la erosión eólica sobre las propiedades físicas y químicas del suelo

La erosión eólica es un proceso complejo, no sólo por lo múltiples factores que lo desencadenan sino por la imperceptible pérdida de suelo que normalmente conlleva. Es un proceso que si no es controlado se retroalimenta, pudiendo llegar a una instancia irreversible afectándose directamente e indirectamente las propiedades físicas y químicas del suelo(Hurtado, 2012).

Un suelo que se erosiona a lo largo del tiempo, pierde o reduce el espesor del horizonte superficial (Chepil, 1955). El transporte de material es un proceso no selectivo, los minerales, cualquiera que sea su estado o forma, pueden perderse al ser trasladados por el viento incluyendo cambios texturales por el transporte de las fracciones finas (Zhao, *et.al.*, 2006).

La permanente remoción del suelo puede concluir al cabo de los años en el esqueleto infértil del suelo, habiéndose perdido las fracciones texturales finas que están enriquecidas de nutrientes, principalmente nitrógeno, fósforo y materia orgánica (Buschiazzo, *et.al.*, 1991).

3.3. Factores que intervienen en el proceso de erosión eólica

La magnitud de la erosión eólica, es regulada por factores climáticos, principalmente precipitaciones y velocidades del viento; edáficos, fundamentalmente la estructura del suelo, la rugosidad superficial, la presencia de costras y el tipo y cantidad de cubierta vegetal (Aimar y Buschiazzo, 2011).

Los factores que tienen influencia sobre el proceso de erosión son las condiciones atmosféricas, propiedades del suelo, características de la superficie del suelo y su uso y práctica (Shao, 2000).

3.4. Estimación de la Pérdida de Suelo

3.4.1. Modelo de la Erosión Eólica

El primer modelo desarrollado para predecir la erosión eólica a nivel de lote fue la Ecuación de la Erosión Eólica Universal (USDA, 1961), que fue actualizada y publicada poco después como Ecuación de Erosión Eólica (*WEQ*). (Woodruff y Siddoway, 1965).

La Ecuación de la Erosión Eólica (*WindErosionEquation, WEQ*) predice la erosión eólica por periodos anuales pero no para intervalos cortos de tiempo. Una desventaja es que los usuarios no disponen para identificar periodos críticos de erosión eólica. (Woodruff y Siddoway, 1965).

3.4.2. Factores que favorecen el Proceso de Erosión Eólica

Según Fryrear (1994), el fenómeno de la erosión eólica se favorece con:

- Vientos fuertes y frecuentes.
- Superficies llanas expuestas al viento.
- Suelo suelto, seco, de textura fina y poca materia orgánica. Con inexistente o degradada estructura del suelo.
- Condiciones de aridez. Altas temperaturas y escasas precipitaciones.
- Poca cubierta vegetal. Así un pastoreo abusivo, la quema de residuos agrícolas y el laboreo irracional pueden ser causantes de la erosión eólica.

3.4.2.1. Viento

El viento es el desplazamiento horizontal de la masa de aire, provocados por las diferencias de presión atmosférica, atribuidas a la variación de temperaturas sobre las diversas partes de la superficie terrestre. La formación de corrientes de aire se origina por las distintas temperaturas existentes entre la tierra y la atmosfera y ante la desigual distribución del calentamiento solar y las diferentes propiedades térmicas de las superficies terrestres y oceánicas. Las masas de aire más caliente tienden a subir y en su lugar se ubican masas de aire más densas y frías. Comúnmente, al hablar de viento nos referimos siempre a un movimiento horizontal o a la componente horizontal de una corriente atmosférica(Seoáñez Calvo, 2002).

El viento se define por su dirección y su fuerza o más exactamente, por su velocidad. La dirección del viento, se refiere al sector geográfico concreto desde donde proviene el viento. La fuerza del viento se comenzó a estimar por su velocidad según la capacidad de mover objetos que están al aire libre (árboles, banderas, humo, etc.) a partir de la cual nace la escala de Beaufort (nombre del almirante que la estableció en 1806). En el sistema métrico la medida de la velocidad del viento son el metro por segundo (m s^{-1}) o kilómetros por hora (km h^{-1}) y sus equivalencias son: $1 \text{ km h}^{-1} = 0.278 \text{ m s}^{-1}$ o bien $3,6 \text{ km h}^{-1} = 1 \text{ m s}^{-1}$ (Willi, 1987).

Los vientos dominantes, son los que soplan casi siempre proviniendo de un mismo sector. Estos hechos indican que existe una circulación general, sistemáticamente regulada por nuestra atmosfera. Cuando los vientos predominan en una sola dirección, una barrera correctamente orientada, disminuye las fuerzas de erosión del viento en más del 50% (Skidmore y van Donk, 2003).

El arrastre de las partículas sólidas por el viento depende estrechamente de la estructura del viento en la proximidad del suelo. El aire ejerce sobre la partícula

en reposo tres tipos de presiones: a) una presión positiva sobre la parte situada frente a la dirección del viento y debida a la presión dinámica del fluido, b) una presión negativa sobre la parte opuesta a la dirección del viento y debida a las fuerzas de viscosidad (la suma de estas dos presiones, constituye el arrastre total dirigido paralelamente a la dirección media del viento) y c) una presión negativa que actúa sobre la parte superior de la partícula, acompañada de una disminución de la presión estática. Su resultante es una fuerza dirigida hacia arriba, cuando esta fuerza es igual o superior al peso de las partículas del suelo, comienza la erosión eólica (Chepil, 1945).

La fuerza y el arrastre total de las partículas son función de la velocidad del viento y se comprende que exista para cada suelo una velocidad umbral del viento que inicie la erosión eólica, el cual depende de la dimensión de las partículas, de su densidad y de su cohesión. Cuando las partículas están sueltas y secas la velocidad umbral requerida para iniciar el movimiento es de entre 14,4 a 20,88 km h⁻¹ a 30 cm del nivel del suelo (Chepil, 1945).

El viento es medido a escala mediante la siguiente tabla de Beaufort (Wordpress, 2013):

Tabla 1. Escala de Beaufort de la Fuerza de los Vientos (Wordpress, 2013)

Grado	Nombre	Velocidad (Km/h)	Caracteres en la tierra	Altura de las olas (m)	Nombres
0	Calma	<1	El humo asciende verticalmente	0,0	Calma
1	Ventolina	1-5	El humo se inclina	0,0-0,1	Rizada
2	Flojito	6-11	Se siente en el rostro, mueve hojas en los arboles	0,1-0,5	Marejadilla
3	Flojo	12-19	Agita hojas de los árboles y extiende banderas ligeras	0,5-1	Marejada
4	Bonancible	20-28	Se mueven ramitas y se levanta polvo y papeles ligeros	1,0-1,25	Marejada
5	Fresquito	29-38	Mueve arbolitos y se forma ondas en los estanques	1,25-2,5	Marejada fuerte

6	Fresco	39-49	Mueve ramas grandes y hace silbar los hilos telefónicos	2,5-4,0	Mar gruesa
7	Frescachón	50-61	Se mueven todos los arboles y no se puede andar contra el viento	4,0-5,5	Mar muy gruesa
8	Temporal	62-74	Desgaja ramas delgadas, impide andar	5,5-7,5	Mar muy gruesa
9	Temporal fuerte	75-78	Destrozos en edificios, caen tejas y chimeneas	7,5-10,0	Arbolada
10	Temporal duro	79-102	Arranca árboles de cuajo	10,0-12,5	Montañosa
11	Temporal muy duro	103-117	Destrozos graves y muy generalizados	12,5-14,0	Montañosa
12	Temporal huracanado	>118	Verdadera catástrofe	>14	De enorme peligro

3.4.2.2. Suelo

La intensidad de la erosión eólica depende de la erodabilidad de los suelos (la susceptibilidad o facilidad de desprendimiento y transporte de las partículas por el viento) y de la erosividad del viento (Rostagno, *et.al.*, 2002).

La erodabilidad de un suelo hace referencia a su resistencia tanto al desprendimiento como al transporte y ha sido definida como la facilidad con que un suelo es erosionado en función de sus propiedades intrínsecas (Rostagno, *et.al.*, 2002).

La fracción erodable del suelo está constituida por los agregados menores a 0.84 mm de diámetro, que se encuentra en los 25 mm superficiales del suelo (Chepil, 1962).

3.4.2.3. Rugosidad

El efecto de la rugosidad respecto a la erodabilidad del viento fue estudiado en laboratorio mediante túneles de viento y a campo (Zingg, 1953). Las crestas de 5,1 y 10,2 cm de altura disminuyen la erodabilidad del suelo por

entrampamiento de las partículas y la disminución de la velocidad del viento (Armbrust, *et.al.*, 1964).

La rugosidad de la superficie del suelo reduce el movimiento de las partículas por viento en un 90%, siempre que el suelo no sea de textura gruesa o de grano simple (Fryrear, 1990).

3.4.2.4. Cobertura Vegetal

La erosión eólica puede ser minimizada o prevenida con cobertura de residuos en pie o residuos muertos. Una cobertura del 30% de residuos puede reducir las pérdidas en un 80% (Fryrear, 1990), y sólo con un 4% de cobertura en el suelo, las pérdidas por erosión eólica se reducen en un 15% en comparación con un suelo desnudo (Fryrear, 1995).

La cantidad y orientación de los residuos y cobertura en el campo tienen un impacto en la erosión del suelo por el viento (Siddoway,*et.al.*, 1965; Skidmore, 1976).

3.5. Características Generales de la Explotación Agrícola en el Municipio de Quillacas

En el Altiplano sur, la actividad agrícola se intensifica, siendo el principal cultivo la quinua, que inicia su mayor auge a partir de los años 60 y se difunde rápidamente en todo el sector. Con el inicio de las exportaciones, se crea una presión sobre la producción, que en la actualidad han presentado efectos devastadores sobre el medio, debido a la sobre explotación de los suelos y la ampliación de la frontera agrícola (Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios, 1998).

A continuación se describen los sistemas de producción más importantes en la región:

3.5.1. Agricultura Tradicional

Alrededor del 60% de la tierra cultivada del mundo se explota todavía mediante métodos tradicionales y de subsistencia (Ruthenberg, 1971). Este tipo de agricultura se ha beneficiado de siglos de evolución cultural y biológica, mediante lo cual se ha

adaptado a condiciones locales (Egger, 1981). Así los pequeños agricultores han creado y heredado sistemas complejos de agricultura que, durante siglos, los han ayudado a satisfacer sus necesidades de subsistencia, incluso bajo condiciones ambientales adversas (suelos marginales, áreas secas o de fácil inundación, pocos recursos) sin depender de la mecanización o de los fertilizantes y pesticidas químicos (Altieri, 1997).

Para enfrentar las limitantes biofísicas del ambiente andino tales como las lluvias irregulares, topografía desfavorable, suelos pobres, extremos climáticos, etc., los campesinos han desarrollado a través de los siglos un estilo andino de agricultura que presenta los siguientes rasgos (FAUTAPO, 2008):

- La artificialización del sistema natural es un proceso de transformación biológico y edáfico, orientado a mantener la productividad en el largo plazo.
- El objetivo de la intensificación de las cosechas es la seguridad alimentaria.
- Las labranzas del suelo, en sus diferentes sistemas evitan que se produzca la degradación del suelo y desajustes ambientales mayores.

a. Siembra

El método de siembra tradicional es del tipo localizado, conocido como siembra por hoyos (*k'oyas*, en aymara). La siembra se realiza manualmente con la ayuda de herramientas tradicionales como la taquisa o licuana (Ramos, 2000).

b. Manejo de Suelos

La agricultura andina ha consistido en el acondicionamiento de determinado espacio y en el rediseño de una parte del paisaje natural, para obtener de él una producción alimentaria estable (Ramos, 2000).

En los Andes, predominan dos sistemas de manejo de suelos: Sistemas Mecánico Estructurales, que consiste en modificaciones de la topografía de la ladera realizando grandes movimientos de tierra (terrazas o andenes, cochas o

chacras hundidas y camellones o waru-waru); Sistemas Bioculturales, conjuntos de prácticas vinculadas al proceso de producción agrícola (labranza, surcos en contorno, rotaciones, descansos, aporques, etc.)(Rengifo, 1987).

El manejo de suelos se enfoca al desarrollo de prácticas de conservación dentro de la agricultura tradicional y se pueden mencionar las siguientes:

- Construcción de terrazas de formación lenta conocidos como *Quillas*.
- Construcción de terrazas o andenes mediante el trabajo recíproco *Ayni*.
- Manejo de cursos o causes de ríos para la formación de parcelas de suelos aluviales, conocidos como *Maycas*.
- Labranza mínima o cero.
- Habilitación de pequeñas extensiones de parcelas en un máximo de unidad de cultivo (80 x 80 m).
- Manejo de parcelas comunales mediante descanso entre 2 a 5 años (*Aynokas*), después de cada año de producción.
- Abonamiento en el barbecho, la siembra o mediante el pastoreo de rastrojos del cultivo de quinua.

c. Formas de habilitación de terrenos

La preparación del terreno en la agricultura tradicional, se caracteriza por ser manual con la ayuda de herramientas nativas como la liuk'ana, taquisa o jachak'ollina y también con la pala o barretas, es menos frecuente la tracción humana o animal (Ramos, 2000).

3.5.2. Agricultura Convencional

La agricultura convencional, es el tipo de producción de alto rendimiento, basada en el uso intensivo de capital (tractores y maquinarias de alta productividad) e insumos externos (semillas de alto potencial de rendimiento, fertilizantes y pesticidas sintéticos). Este enfoque de la producción agropecuaria se conoce como agricultura “de la

Revolución Verde”, “de altos rendimientos”, “de altos insumos externos” o “moderna” (ECOCLIMA, 2011).

A medida que la modernización agrícola avanzó, la relación entre la agricultura y ecología fue quebrada en la medida en que los principios ecológicos fueron ignorados y/o sobrepasados, muchos científicos agrícolas consensuaron que la agricultura moderna confronta una crisis ambiental (Ramos, 2000).

Los principales efectos negativos son (ECOCLIMA, 2011):

- Erosión de suelos.
- Salinización y anegación de suelos muy irrigados.
- Uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas.
- Agotamiento de acuíferos.
- Pérdida de diversidad genética.
- Deforestación.
- Consumo de combustibles fósiles y liberación de gases invernadero.

3.5.3. Agricultura Orgánica

La agricultura orgánica es un sistema de producción que mediante el manejo racional de los recursos naturales, sin la utilización de productos de síntesis química, brinde alimentos sanos y abundantes, mantenga o incremente la fertilidad del suelo y la diversidad biológica (Gómez, 1996).

La agricultura orgánica es un sistema de producción que trata de utilizar al máximo los recursos de la finca, dando énfasis a la fertilidad del suelo y la actividad biológica y al mismo tiempo, a minimizar el uso de los recursos no renovables y no utilizar fertilizantes y plaguicidas sintéticos para proteger el medio ambiente y la salud humana (FAO, 2001).

3.5.4. Ventajas y desventajas de un sistema de producción tradicional, de un sistema de producción convencional y de un sistema de producción orgánico

La agricultura tradicional es un instrumento efectivo para hacer que la agricultura esté en armonía con el medio ambiente, a continuación se muestran las ventajas y desventajas (Ramos, 2000):

Tabla 2. Ventajas y Desventajas del Sistema de Producción Tradicional (Ramos, 2000)

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Aprovecha los recursos naturales sin deteriorarlos	Los resultados son a mediano plazo
Estimula, recupera y mantiene la fertilidad natural de los suelos	Uso intensivo de mano de obra
Protege las especies nativas, vegetales y animales	Es cara en la fase inicial, principalmente en terrenos con pendientes
Estimula la biodiversidad animal y vegetal	Requiere de un manejo especializado y auditado
Fabrica sus propios insumos para la producción agrícola	Requiere control y verificación internacional
Diversifica la producción	Requiere de honestidad del agricultor y de todos los que participan en la cadena productiva
Produce alimentos, animales y combustibles para el autoconsumo	-
Maneja y recicla los desechos de la cosecha	-
No es contaminante	-
Los productores agrícolas con certificación orgánica tienen un valor agregado mayor en 50%	-

En los últimos años la oferta mundial de alimentos aumentó sustancialmente en función del uso de nuevas tecnologías de producción relacionadas a los insumos como semillas mejoradas, productos fitosanitarios, irrigación, maquinaria entre otros (CPTS, 2008)

Los cambios tecnológicos en los últimos 70 años han marcado no sólo una forma tremendamente agresiva de tratar al medio natural sino también de dirigir las voluntades de los consumidores, esta tiene como principal objetivo la máxima

rentabilidad en las producciones, para lo cual se practica monocultivo, teniendo como primera y principal consecuencia el desequilibrio y final desaparición de los seres vivos del suelo.

A continuación las ventajas y desventajas de la agricultura convencional (Ramos, 2000):

Tabla 3. Ventajas y Desventajas del Sistema de Producción Convencional (Ramos, 2000)

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Aumento de la productividad	Destrucción y salinización de los suelos
Desarrollo tecnológico sostenible	Contaminación por plaguicidas y fertilizantes
Mejor rentabilidad del negocio	Deforestación y pérdida de biodiversidad genética
-	Erosión del suelo
-	Agotamiento de acuíferos

A nivel mundial, las tendencias de las poblaciones del primer mundo se están volcando hacia el consumo de productos orgánicos naturales, algunas ventajas y desventajas de la producción orgánica se nombran a continuación (Silva, 2010):

Tabla 4. Ventajas y Desventajas del Sistema de Producción Orgánico (Silva, 2010)

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Preservación de la fertilidad de los suelos	Costos elevados
Garantiza la rotación de cultivos	Tiempos de maduración más extensos
Preservación de la calidad de los alimentos	Mayor control sobre los cultivos
Menor contaminación de los recursos naturales y el medio ambiente	Requiere instalaciones y adaptaciones especiales
Menor coste energético	-

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Descripción del área de estudio

4.1.1. Ubicación Geográfica

El estudio se realizó en el sur del altiplano boliviano, en la zona del perisalar o intersalar, llamada así porque se encuentra en la zona circundante y entre los salares de Coipasa y de Uyuni (Figura 2).

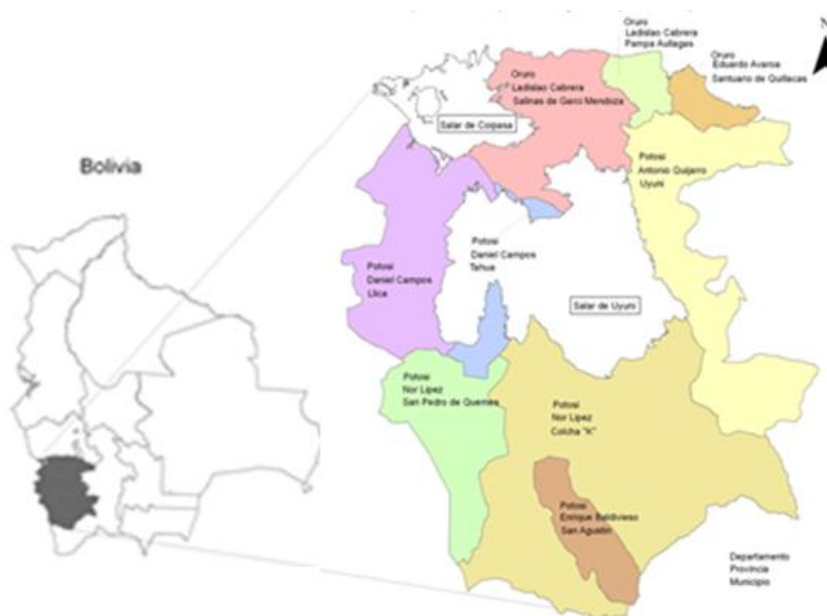


Figura 2. Ubicación geográfica de la zona de estudio (Acho, 2008)

Políticamente pertenece a la jurisdicción de la Provincia Eduardo Avaroa del Departamento de Oruro.

De manera específica, el área de estudio se encuentra ubicada en el Municipio del Santuario de Quillacas a una distancia aproximada de 150 km de la ciudad de Oruro a 3.770 m.s.n.m. (Figura 3).



Figura 3. Distancia entre la ciudad de Oruro y el Santuario de Quillacas (Google earth, 2013)

Geográficamente está ubicada entre los paralelos $19^{\circ} 13'$ de latitud sud y $66^{\circ} 56'$ de longitud oeste. La ubicación de la parcela de estudio se muestra en la Figura 4.

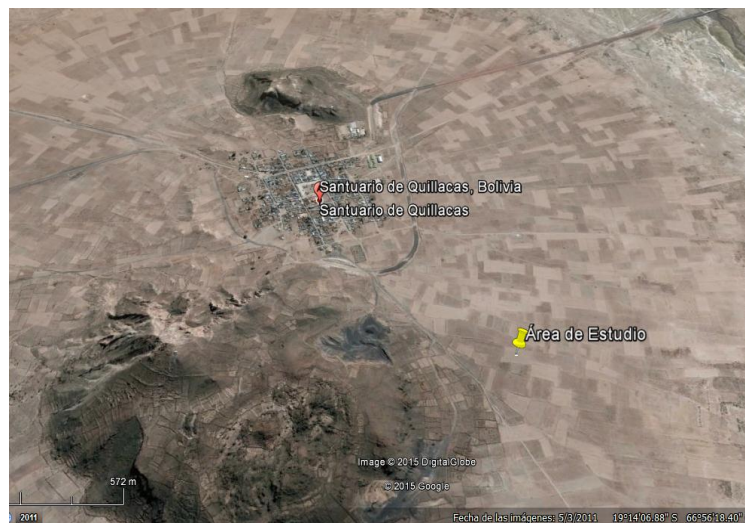


Figura 4. Ubicación de la Parcela de Estudio (Google earth, 2013)

4.1.2. Clima

El clima varía de templado y seco en altiplano a frío en la cordillera, según la clasificación de Thornthwaite. Con las estaciones bien marcadas, una lluviosa en verano (diciembre a abril) y otra seca en el resto del año (mayo a diciembre). Los meses más calurosos son noviembre, diciembre, enero y febrero, los meses más fríos son junio, julio y agosto (Plan de Desarrollo Municipal, Santuario de Quillacas, 2005-2009).

4.1.3. Temperatura

La temperatura en el Santuario de Quillacas (Tabla 5), varía llegando así a temperaturas máximas extremas registradas de 22,3°C, en época de verano (octubre, noviembre, diciembre y parte de enero). Las temperaturas medias que se presentan en la región adquieren valores bastante elevados especialmente en la planicie, con temperaturas medias sobre los 6°C; mientras que las temperaturas mínimas extremas llegan a los 3,8°C bajo cero (junio, julio) (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, SENAMHI, 2013).

Tabla 5. Temperaturas promedio (°C) Santuario de Quillacas (SENAMHI, 2013)

VALORES	MESES												ANUAL
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Temp. Media	15,1	13,5	12,9	10,3	6,9	6,0	7,0	7,2	7,2	7,4	12,8	11,5	9,23
Temp. Máx. Media	21,5	19,4	18,4	18,6	16,9	15,7	15,3	15,2	17,7	16,0	22,3	19,0	16,70
Temp. Min. Media	8,6	7,7	7,4	2,0	-3,0	-3,8	-2,2	-0,9	-3,5	-1,2	3,4	4,0	1,73

4.1.4. Precipitación

Las precipitaciones en la zona alcanzan un promedio de 391,5 mm el año 2013, presentando precipitaciones pluviales con mayor frecuencia en los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo (71,8% de la precipitación total), el restante se da en los otros meses (Plan de Desarrollo Municipal, Santuario de Quillacas, 2005-2009).

En la siguiente Tabla, se da cuenta del promedio de la precipitación en el Santuario de Quillacas en los últimos tres años (SENAMHI, 2013).

Tabla 6. Precipitaciones Total Mensual (mm) Santuario de Quillacas (SENAMHI, 2013)

Precipitación (Año)	MESES												ANUAL
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
2011	69,2	93,3	13,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2012	51,9	60,7	38,2	10,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,0	45,2	227,8
2013	27,9	179,7	61,0	15,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	107,7	391,5

4.1.5. Vientos

Los vientos en la región alcanzan una velocidad máxima de 60 km h⁻¹ y una velocidad mínima promedio de 10 km h⁻¹ (SENAMHI, 2013). Como se puede apreciar en la siguiente tabla, los vientos en la mayoría de los meses son mayores a 14 km h⁻¹ que es la velocidad teórica umbral de erosión.

Tabla 7. Velocidad Media del Viento (km h⁻¹) Santuario de Quillacas (SENAMHI, 2013)

AÑO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANUAL
2011	17,1	18,4	19,7	19,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2013	15,0	13,2	14,2	14,9	16,6	19,7	16,9	16,8	21,9	17,6	20,1	16,9	16,9

4.1.6. Geología

El altiplano boliviano comprende un conjunto endorreico de cuencas cuaternarias actualmente ocupadas por los lagos Titicaca y Poopó y por extensos salares como los de Uyuni y Coipasa. En el pasado existían varias extensiones lacustres cuaternarias conocidas bajo los nombres de Ballivián, Minchín y Tauca (Montes de Oca, 1989).

Las cuencas de Uyuni, Coipasa y Poopó han estado sumergidas por el lago Minchín, al oeste y sureste del lago Poopó los campos de dunas, en parte fosilizadas por los sedimentos del lago Minchín, se asocian posiblemente al interlacustre Ballivián-Minchín (Montes de Oca, 1989).

4.1.7. Fisiografía

Al sur del lago Poopó la región se caracteriza por la presencia de grandes salares y pampas desérticas formadas por arcilla, arena y grava. Es la región árida del país con precipitaciones de menos de 100 mm. por año y a veces sin ninguna lluvia. (Montes de Oca, 1989).

Es atravesado por pampas con una cubierta arcillosa, lechos de antiguos lagos que muestran las grietas de desecación, pampas y ríos secos formados por arena fina proveniente de la descomposición de rocas volcánicas y pampas pedregosas formadas por clastos y fragmentos de rocas (Montes de Oca, 1989).

4.1.8. Topografía

La región altiplánica que comprende Quillacas, Sevaruyo y Soraga colectivamente son planas, a partir de este punto hacia la cordillera oriental, las comunidades de Totorani, Picotani; presentan zonas accidentales con grandes contradicciones topográficas (Plan de Desarrollo Municipal, Santuario de Quillacas, 2005-2009).

4.1.9. Hidrología

La cuenca hidrogeológica del altiplano está situada entre los 3000 y 4000 m. de altura sobre el nivel del mar, forma una especie de embalses subterráneos irregulares con flujos de descarga hacia el lago Titicaca, Poopó y Salar de Uyuni (Montes de Oca, 1989).

La cuenca hidrogeológica del altiplano, está ocupada por depósitos cuaternarios de origen glacial, fluvial, eólico y lacustre de diferentes grados de permeabilidad (Montes de Oca, 1989).

4.1.10. Altitud

El área que corresponde al Municipio del Santuario de Quillacas forma parte de la unidad Morfo-Estructural del Altiplano y las estribaciones accidentales de la Cordillera Oriental. En la zona central y a una altura promedio de 3.746,33 m.s.n.m., se encuentran las comunidades de Quillacas, Sevaruyo y Soraga; con el desarrollo de extensas planicies de origen fluvio lacustre, interceptadas por varias serranías con las del río Wilajahuirá, alcanzando los 4.200 m.s.n.m (Plan de Desarrollo Municipal, Santuario de Quillacas, 2005-2009).

4.1.11. Relieve

La zona muestra extensas planicies accidentadas, distribuidas irregularmente, con terrenos muy pronunciados, ondulados y escarpados con regiones montañosas. Presentando suelos poco profundos, debido a que el proceso de la erosión es dominante y acelerado; llegando a causar la desertificación de los suelos (Plan de Desarrollo Municipal, Santuario de Quillacas, 2005-2009).

4.1.12. Suelo

Los suelos de esta zona no presentan prácticamente evolución genética de los horizontes, que son fuertemente alterados con presencia de material volcánico transportado por erosión eólica, además de la presencia de sales en exceso (FAO, 2000).

Los suelos del Altiplano Sur son de baja fertilidad natural y muy susceptibles a la erosión eólica, especialmente si quedan descubiertos (Orsag, *et.al.*, 2013).

Las características de clima, suelos, ubicación geográfica, relieve, determinan que el altiplano resulta ser una región extremadamente susceptible a la erosión y a la degradación de suelos, que son factores que causan la desertificación, por lo cual se requieren cambios en el uso de la tierra (Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente de Bolivia, 1996).

4.1.13. Flora

La presencia de vegetación en el municipio se encuentra en función de las características del relieve, así como del microclima y las características edáficas regulando la distribución de las mismas. La vegetación natural predominante en el municipio, es diversificada por zonas y el medio de habitaad, que están conformadas por varias especies nativas, de las cuales se menciona en la siguiente Tabla 8:

Tabla 8. Flora de la Sección Municipal Santuario de Quillacas (Plan de Desarrollo Municipal, Santuario de Quillacas, 2005-2009).

Nombre Común	Nombre Científico	Nombre Común	Nombre Científico
Ajara	<i>Chenopodium</i> sp.	Layu-Mutu cura	<i>Trifolium</i> amabile
Añahuaya	<i>Adesmia</i> epinossisima	Llantén	<i>Plantago</i> major
Cauchi	<i>Suaeda</i> foliosa	Llapa	<i>Bouteloua</i> simplex
Cebadilla	<i>Bronus</i> uniloides	Malva común	<i>Malachra</i> capiatata
Chiji blanco	<i>Mulenbergia</i> fastigiata	Muña	<i>Satureja</i> parvifolia
Chiji negro	<i>Distichlis</i> humilis	Ñacathola	<i>Baccharis</i> heterothalamoides
Cola de caballo	<i>Equisetum</i> higidanale <i>Hordeum</i> miticum	Paja brava	<i>Festuca</i> orthophiia
		Paja suave	<i>Stipa</i> ichu

Cola de raton	<i>Cajophora horrida</i>	Thola	<i>Lepidophylli quadrangulare</i>
Itapallo	<i>Lipinuspanuculatus</i>	Anuthola	<i>Baccharis dracunculifolia</i>
Kelakela	<i>Desniasp.</i>	Tara tara	<i>Coulteria parviflora</i>
Lamakura	<i>Lampaya medicinalis</i>	Zapatilla	<i>Calceolaria parviflora</i>
Lampaya	<i>Fachemillapinnata</i>	Tusca tusca	<i>Aciachnepulvinata</i>
Wirawira			

4.1.14. Fauna

Quillacas cuenta con una fauna típica altiplánica, constituida por diferentes especies que detallan a continuación (Tabla 9):

Tabla 9. Fauna de la Sección Municipal Santuario de Quillacas (Plan de Desarrollo Municipal, Santuario de Quillacas, 2005-2009)

Nombre Común	Nombre Científico	Nombre Común	Nombre Científico
Aguilucho	<i>Spizaetusomatos</i>	Vicuña	<i>Vicugnavicugna</i>
Búho	<i>Tylo alba</i>	Zorrino	<i>Canis culpeos antinus</i>
Chizaca	<i>Ptilocelysresplendens</i>	Zorro colorado	<i>Conepatusrex</i>
Flamenco	<i>Phenicopterusandinus</i>	Ñandú	<i>Reha americana</i>
Lechuza	<i>Athenecunicularia</i>	Pájaro negro	<i>Nycticoraxolivareus</i>
Liebre	<i>Lagidiumsp.</i>	Paloma	<i>Columba fascista</i>
Lagartija	<i>Liolumismultiformis</i>	Pampa kowi	<i>Cavia aparea</i>
Topo	<i>Akodonalbiventer</i>	Pato	<i>Anasfavirostris</i>
Viscacha	<i>Lagstomusmaximus</i>	Perdiz	<i>Tinamusmajor</i>
		Quirquincho	<i>Euphractusnationi</i>

4.2. Materiales

a) Materiales y Equipos para Mediciones

- Pala
- Picota
- Colectores *Big Spring Number Eight (BSNE)*

- Torre de medición de viento
- Wincha de 50 metros
- Cuchillo
- Frasco gotero de HCl
- Brújula
- Lona
- Bolsas plásticas
- Balanza digital

b) Materiales para la construcción de los anemómetros y la veleta

- 12 radios de bicicleta
- 3 ventiladores de cocina
- 1 frasco de poxilina
- 12 vasijas de plástico
- 3 cañería
- 3 uniones de cañería de 90°
- 3 uniones “T” de cañería
- 3 velocímetros de bicicleta
- 12 tuercas pequeñas
- Velocímetro de bicicleta
- *Data logger*

4.3. Metodología

4.3.1. Procedimiento “*in situ*”

a. Delimitación del área de estudio

Se realizó la medición de una parcela cuadrada de 1 ha (100 m x 100 m) como se puede apreciar en la Figura 5:

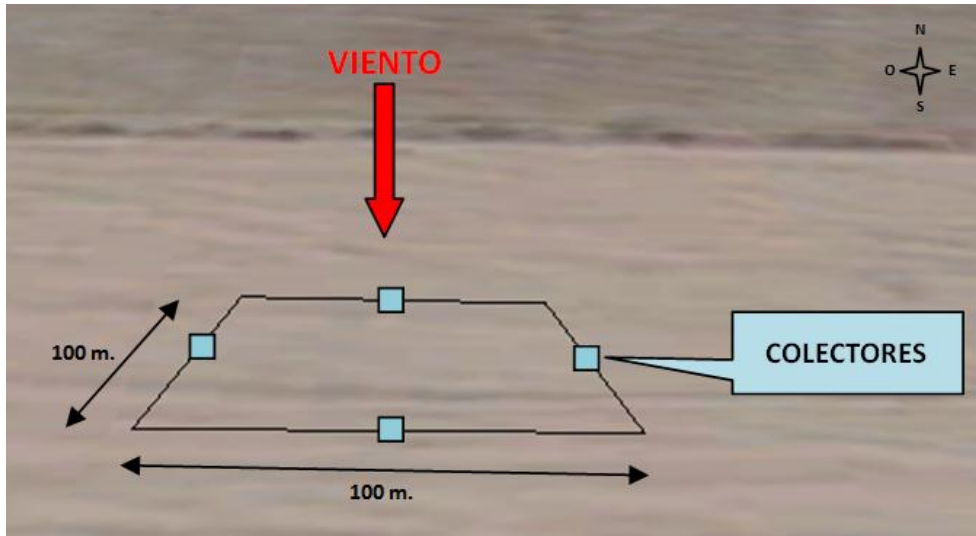


Figura 5. Tamaño y Ubicación de la parcela de estudio (Google earth, 2013)

b. Instalación de los Colectores de Suelo “Big Spring Number Eight” (BSNE)

Los colectores de suelo *Big Spring Number Eight* (BSNE) fueron desarrollados por Fryrear (1986) e independientemente probados por Shao, McTainsh y Leys (1993).

En la Figura 6 se muestra la estructura del colector y en la Figura 7 la estructura del recipiente:

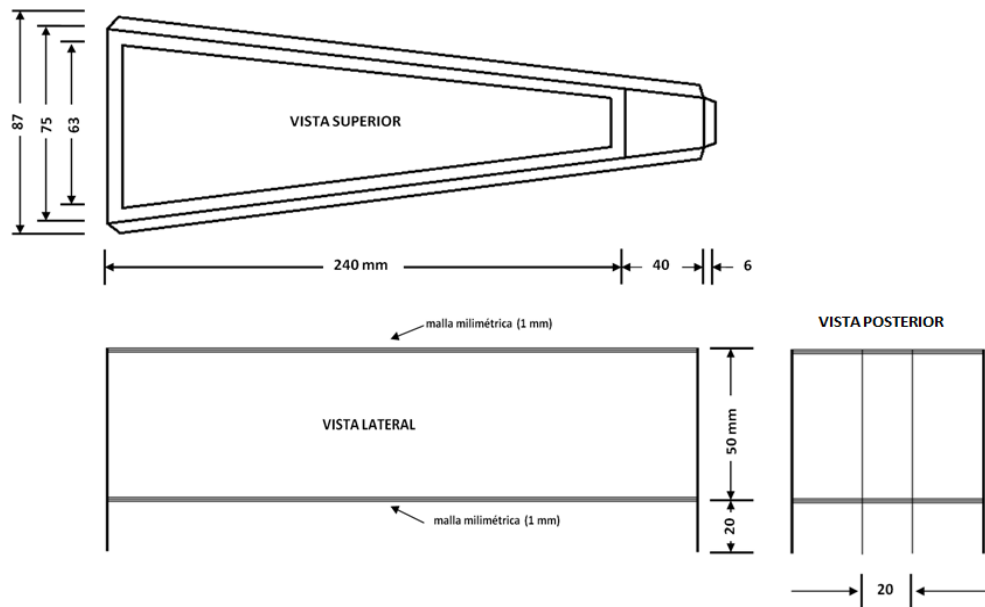


Figura 6. Estructura del Colector BSNE (Fryrear, 1986)

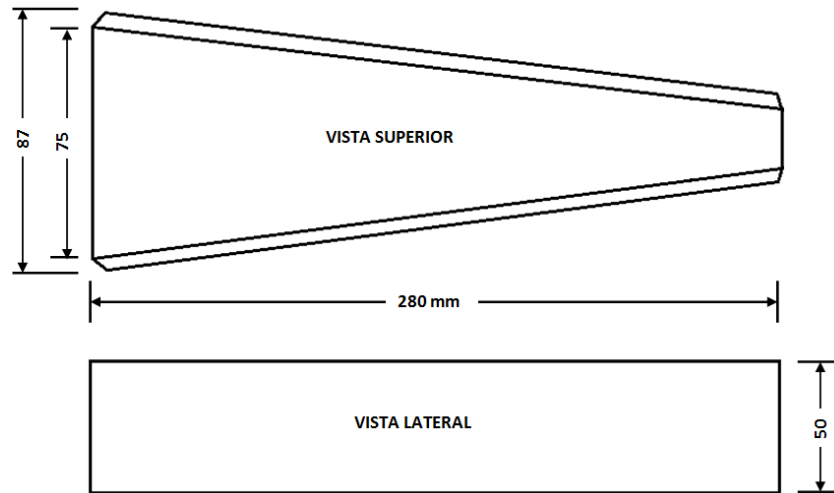


Figura 7. Estructura del Recipiente BSNE (Fryrear, 1986)

Los colectores son de metal galvanizado y constan de dos partes: una bandeja inferior donde se colecta la muestra y otra cuya cara superior e inferior están formadas por mallas de 1 mm respectivamente (Figura 8). Las mismas tienen la función de retener material grueso indeseable, no producido por erosión del suelo (restos de vegetales, insectos y otras sustancias). El material entra por una boca rectangular de 2 x 5 cm ubicada en la base menor de la bandeja superior.



Figura 8. Colectores de partículas *Big Spring Number Eight (BSNE)*

El grupo de muestreo consiste en un arreglo de tres colectores *Big Spring Number Eight (BSNE)*, cada uno sujeto a un pivote que le ofrece la capacidad de giro y esta a su vez conectada a una veleta para ser ubicada en la dirección de los vientos predominantes (Figura 9). En la misma figura se puede apreciar la altura a la que los colectores fueron instalados en relación con la superficie:

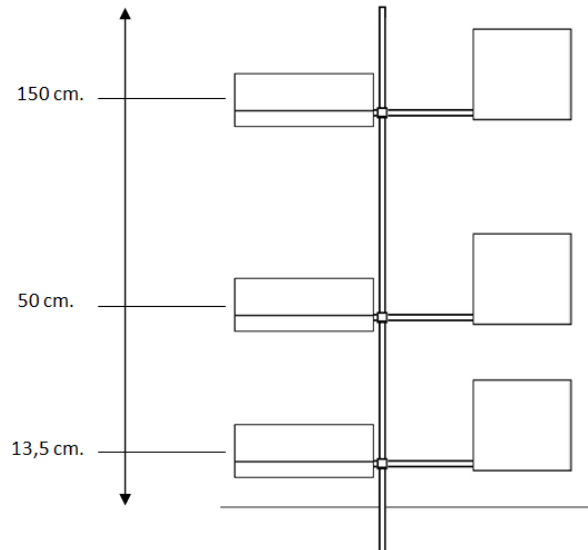


Figura 9. Estructura y Altura de los colectores *Big Spring Number Eight*(BSNE)

En la parcela de estudio se instalaron cuatro juegos de colectores, dispuestos en la mitad de cada lateral orientados a los cuatro puntos cardinales (Figura 10) de acuerdo a lo recomendado por Hurtado (2012).

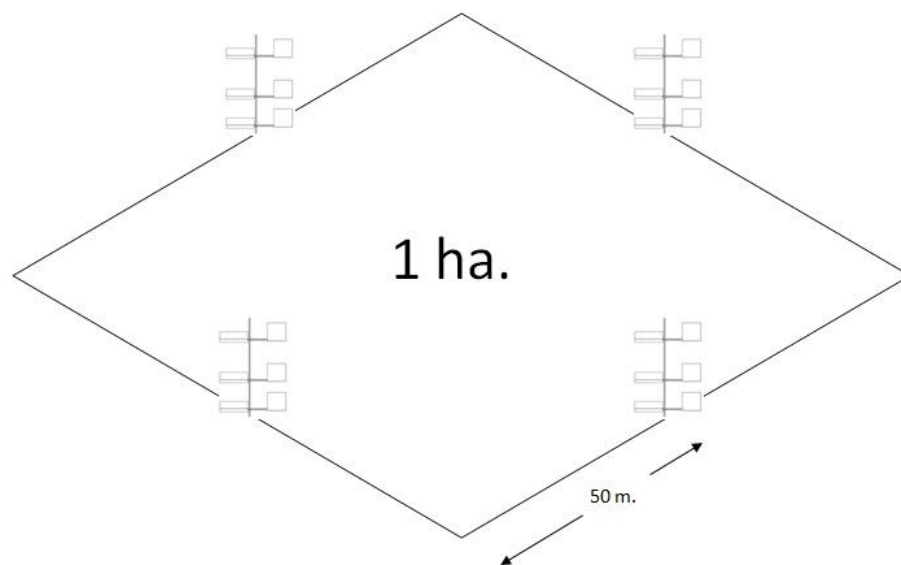


Figura 10. Orientación Espacial de los Colectores *Big Spring Number Eight* (BSNE)

c. Instalación Torre de Medición de Viento

Para determinar las velocidades y direcciones de los vientos se instaló una torre de medición de viento (Duijts, 2012).

La estación consistía en 3 anemómetros de copas para medir la velocidad del viento a 3 diferentes alturas sobre la superficie del suelo: 13,5; 50 y 150 cm y una veleta para medir la dirección del viento (Figura 11).

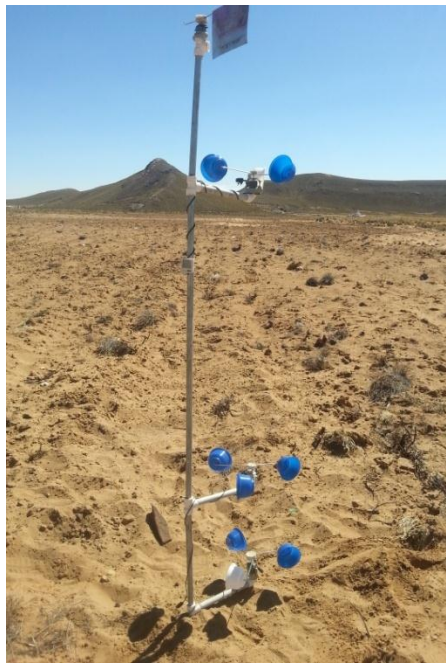


Figura 11. Torre de medición de viento

Cada anemómetro y la veleta fueron conectados a un *data logger* para poder realizar la lectura automática cada 10 segundos y almacenarla cada minuto.

Los anemómetros y la veleta fueron construidos por iniciativa propia (ver Anexo) bajo los siguientes pasos y metodología:

- Se desmontaron las aspas giratorias del motor y la cubierta.
- Se hicieron tres agujeros en cada uno de los ejes del motor para insertar los radios de bicicleta.
- Para fijar los radios de bicicleta, se rellenó de poxilina y se dejó secar.

- Posteriormente, se hicieron agujeros en los pocillos de plástico, se los insertó y aseguró en los radios.
- Se cortaron trozos de cañería a 13,5; 50 y 150 cm.
- Con las uniones “T” se formó un sólo soporte, de las uniones se insertaron cañerías de 60 cm. de largo, al final de cada cañería se insertaron las uniones de 90°.
- Por último, se colocaron los anemómetros y la veleta.
- A los anemómetros y a la veleta se les incorporó un sistema electrónico conectado al *data logger*.

d. Cálculo del Perfil Logarítmico de la Velocidad del Viento en el área de Estudio

El viento a una gran distancia de la superficie del suelo, sin ningún tipo de restricciones de barreras u objetos, es conocido como “corriente libre”, el aire circula y se mueve más o menos paralela a la superficie (Presley y Tatarko, 2009).

El viento cerca de la superficie se ve afectado por el suelo y la vegetación, estos quitan la energía del viento y resultan en una velocidad del viento inferior (Duijts, 2012).

La velocidad de avance promedio cerca de la superficie es más baja que en la corriente libre. La velocidad aumenta conforme la distancia sobre la superficie aumenta (Presley y Tatarko, 2009). Este declive de velocidad se conoce como el “perfil de velocidad del viento”.

La siguiente ecuación (Stout y Zobeck, 1996) fue usada para describir la media del perfil de velocidad del viento:

$$U_{(z)} = \frac{u_*}{k} \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \quad (1)$$

Donde:

$U_{(z)}$, es la velocidad media del viento ($m s^{-1}$) a la altura z (m).

z_o , es la longitud de la rugosidad aerodinámica (m).

k , es la constante de Von Karmans (0,4).

u_* , velocidad de fricción ($m s^{-1}$).

Un alto valor de z_o significa que el terreno es aerodinámicamente áspero y la velocidad del viento correspondiente es baja debido a una alta fricción. Por lo tanto el parámetro z_o proporciona la información directa de la rugosidad de cada superficie y describe indirectamente el riesgo potencial a la erosión.

Así mismo, altos valores de u_* indican alta turbulencia (Duijts, 2012).

e. Cálculo de la Erosión Eólica

Para calcular la erosión eólica durante los tres meses de estudio recolectó el material transportado por el viento cada 24 horas o en periodos más cortos en el caso de producirse tormentas en lapsos menores de tiempo (pulsos de erosión). El material acumulado en cada colector, se trasvasó con sumo cuidado en frascos tarados y se pesaron con balanza analítica.

Con los datos de los pesos del material colectado por el conjunto de colectores, la velocidad y dirección del viento predominante durante la tormenta se calculó la cantidad de material transportado por unidad de superficie (Stout y Zobeck, 1996).

Como no está determinada la velocidad umbral para los suelos en estudio y dentro la fracción mineral más del 50% corresponde a arena fina y en base a los estudios de diversos autores (Chepil, 1945; Malina, 1941; Wilson y Cooke, 1980; Fryrear y Saleh, 1993; de Oro y Buschiazzo, 2009; Buschiazzo, *et.al.*, 1991), se

muestrearon tormentas con velocidades del viento superiores a 4 m s^{-1} ó 14 km h^{-1} .

La cantidad de material erosionado por el viento se determinó en dos etapas:

- Cálculo de la cantidad de material erosionado en cada punto de muestreo (Q_p). Este paso se realizó integrando la ecuación potencial negativa que relacionó la variación de la cantidad de material en función de la altura, entre 13,5 y 150 cm. utilizando la Ecuación 2 (Stout y Zobeck, 1996).

$$Q_p = aZ^b \quad (2)$$

Donde:

Q_p , cantidad de material erosionado en un punto ($\text{kg m}^{-2} \text{ dia}^{-2}$).

Z , la altura sobre la superficie del suelo

a y b , coeficientes de la regresión.

- Cálculo de la erosión ocurrida en el total de la parcela (Q). Para esto se restó el Q_p del punto de muestreo ubicado a sotavento menos el Q_p ubicado a barlovento de la parcela, considerando la dirección predominante del viento, en cada evento erosivo.

4.3.2. Procedimiento mediante la Ecuación de la Erosión Eólica (*Wind Erosion Equation, WEQ*)

La Ecuación de la Erosión Eólica (*WEQ*, por sus siglas en ingles) fue desarrollada por (Woodruff y Siddoway, 1965), es un modelo empírico que permite estimar tasas anuales de pérdida de suelo por erosión eólica. Skidmore, *et.al.* (1970) aplicaron una sencilla solución computacional para resolver la *WEQ*. La relación funcional general entre la variable dependiente E (el potencial de la pérdida media anual de suelo) y las variables equivalentes o factores principales es:

$$E = f(I, K, C, L, V) \quad (3)$$

Donde:

I es el índice de erodabilidad del suelo.

K es el factor de rugosidad.

C es el factor climático local.

L es la longitud del terreno en la dirección prevaleciente de los vientos.

V es el equivalente de cobertura de la región.

a. Caracterización del terreno

Se recabaron muestras de la superficie del suelo (15 cm) para determinar la distribución del tamaño de las partículas utilizando el método de Bouyucos descrito por Miranda (2004), conductividad eléctrica, CaCO_3 , pH.

b. Valoración de la erodabilidad del suelo (I)

El porcentaje de la fracción de suelo seco se determinó utilizando un tamiz plano convencional (Skidmore, 1994). Se pesó y tamizó 1 kilogramo de capa superficial seca (0-15 cm) utilizando un diámetro de apertura de 1 mm hasta que los agregados pasaran por un diámetro menor a los 1 mm el porcentaje de los agregados de suelo >1 mm caracteriza el estado de los agregados del suelo durante el periodo de erosión. La erodabilidad del suelo provocada por el viento, se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$I = 662 - 148 \ln(X) \quad (4)$$

Donde:

I es la erodabilidad del suelo (mg ha^{-1})

X es el porcentaje de suelo de la fracción de suelo seco >1 mm

c. Estimación del factor rugosidad de la cresta (K)

El factor K determina la reducción factorial de la erosión ocasionada por los agregados no erosionables y está influenciado por el espaciamiento y altura de la cresta:

$$KR = 4HR^2/IR \quad (5)$$

Donde:

KR es la rugosidad de la cresta (mm)

HR es la altura de la cresta (mm)

IR es el intervalo de la cresta (mm)

El factor K es una función de la rugosidad de la cresta, expresada por la siguiente ecuación:

$$K = 1.0 \quad KR < 2.27 \quad (6)$$

$$K = 1.125 - 0.153 \ln(KR) \quad 2.27 < KR < 89 \quad (7)$$

$$K = 0.336 \exp(0.00324 KR) \quad KR \geq 89 \quad (8)$$

Sin embargo, Zachar (1982) sugirió que el valor de K para los campos elevados puede ser calculado de la siguiente manera:

$$K = (IR_{1:4}/IR_{1:X})HR \quad (9)$$

Donde:

$IR_{1:4}$ es el espaciamiento estándar de la cresta (1:4)

$IR_{1:X}$ es el espaciamiento medido de la cresta (1:X)

HR es la altura de la cresta

Saleh (1994), desarrolló un sencillo método para medir la rugosidad de la superficie del suelo empleando una cadena de rodillos. Este método se basa en los principios cuando una cadena con longitud determinada (L_1) se coloca sobre una superficie, la distancia horizontal entre el final de la cadena (L_2) disminuirá al aumentar la rugosidad. La rugosidad de la superficie del suelo (Cr) se obtiene usando la proporción L_2/L_1 de la siguiente manera:

$$Cr = (1 - L_2/L_1)100 \quad (10)$$

La orientación de la cresta se determinó con respecto a la dirección predominante del viento.

d. Estimación de la erosividad del viento (C)

Chepil, *et.al.* (1962), propusieron un factor climático para establecer la pérdida promedio anual de suelo para las condiciones de clima determinadas. Este factor es un índice de erosión eólica, influenciado por el contenido de humedad de la superficie del suelo y la velocidad media del viento.

El factor climático se expresó de la siguiente manera:

$$C = 386U^3/(PE)^2 \quad (11)$$

Donde:

U es la velocidad media anual del viento corregida a 9,1 m.

PE es el índice de efectividad de las precipitaciones de Thornthwaite.

El valor 386 es el factor atribuido a las condiciones de Garden City, Kansas, EE.UU. así como el índice PE se reduce cuando la precipitación es escasa,

como ocurre en las regiones áridas, el factor climático de la ecuación tiende a infinito.

En 1979, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO, modificó el índice Chepil (1962) y propuso un factor climático “C” para determinar la pérdida media anual de suelo para las condiciones climáticas áridas y semiáridas.

El factor climático propuesto se considera con un índice para la erosión eólica y es influenciado por la precipitación (P), la evapotranspiración potencial (PE) y la velocidad media de los vientos.

$$C = 1/100 \sum U^2 ((PE_i - P_i)/PE_i)D \quad (12)$$

Donde:

U es la velocidad media mensual del viento a 2 m de altura (m seg⁻¹)

PE_i es la evapotranspiración potencial mensual (mm)

P_i es la cantidad de lluvia mensual (mm)

D es el número de días en el mes correspondiente.

A medida que la precipitación se aproxima a cero, la velocidad del viento domina el factor climático. Por el contrario, cuando la precipitación se acerca a la evapotranspiración potencial, el factor climático se aproxima a cero.

e. Estimación de la longitud del campo(L)

La longitud del campo fue considerada como la longitud del campo en la dirección prevaeciente de la erosión eólica (Woodruff y Siddoway, 1965). No obstante, en algunas ocasiones los vientos provienen de distintas direcciones, por ello prácticamente no existe dirección de la erosión eólica.

En algunos esfuerzos de modelación, el procedimiento para determinar “L” en la ecuación de la erosión eólica fue simplificado haciendo caso omiso a las distribuciones de la dirección del viento (Eltaif y Gharaibeh, 2011).

f. **Determinación de la cobertura vegetal (V)**

Woodruff y Siddoway(1965), cuantificaron las propiedades específicas de la cobertura vegetal que influyen la erodabilidad del suelo. Las ecuaciones de regresión se obtuvieron en relación a la pérdida de suelo por los vientos para los montos seleccionados, los tipos y la orientación de las coberturas vegetales, la velocidad del viento y los terrones del suelo.

Relacionaron (Woodruff y Siddoway, 1965) la pérdida de suelo con la cobertura vegetal equivalente para granos pequeños y rastrojo de sorgo para diversas orientaciones (horizontal o vertical) y alturas.

Lyles y Allison (1981), determinaron el equivalente a la protección por erosión eólica a partir de pastos y residuos de cultivo que se seleccionaron y formularon la siguiente ecuación:

$$(SG)_e = aX^b \quad (13)$$

Donde:

SG es el equivalente de grano pequeño plano (kg ha^{-1})

X es la cantidad de residuos o hierbas a convertir

a, b son las constantes que se obtuvieron a partir de los cuadros ya preparados (Lyles y Allison, 1981).

Se determinó una ecuación promedio a partir de la agrupación de todos los datos de los cultivos con hileras perpendiculares a la dirección del viento, 8.9 y 0.9 para a y b respectivamente. Se requiere tanto del equivalente del grano pequeño

plano o del factor vegetativo para los distintos procedimientos para estimar la erosión eólica.

La relación entre el equivalente de grano pequeño y plano y la cobertura vegetal fue demostrada gráficamente por (Woodruff & Siddoway, 1965).

Williams (1984), creó una ecuación para la relación gráfica:

$$V = 0.2533(SG)_e^{1.363} \quad (14)$$

La cubierta vegetal V , es una función del grano pequeño. Si este se desea para los tallos de altura, la muestra podría ser cortada a una altura adecuada antes de determinar un peso real en seco.

4.3.3. Caracterización del Sistema Productivo

En la caracterización del sistema productivo, se realizó la revisión de literatura y una selección de familias para la obtención de datos con relación al manejo de suelos, cultivo, ganadería, espacio y otros.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Análisis de los vientos

La dirección y velocidad de los vientos en el mes de junio tuvieron una dirección predominante Norte/Oeste y una velocidad media máxima de 30.0 km h^{-1} (Figura 12).

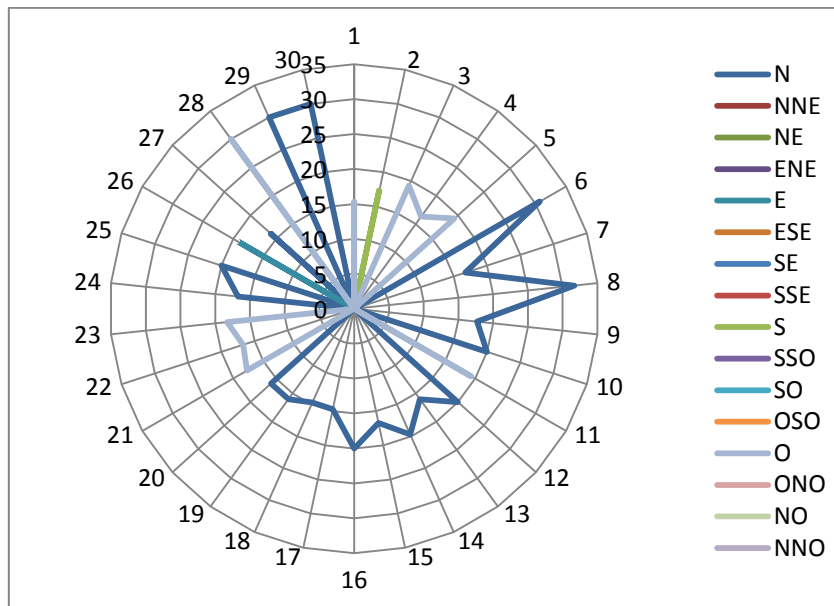


Figura 12. Dirección y velocidad de los vientos en el mes de junio por días

En la Tabla 10 se muestran las velocidades medias del viento a las tres alturas de medición (150; 50 y 13,5 cm).

Tabla 10. Velocidad Media del Viento (km h^{-1}), mes de junio por días a 150, 50 y 13,5 cm sobre el nivel del suelo

Altura Medición (cm)	Días																														Prom.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
150	15,3	17,3	19,3	16,3	19,3	30,7	16,7	31,7	17,7	20	19,3	20	16	19,7	16,7	20	14,7	14,7	16	16	17,7	16,7	18,3	16,7	20	19,3	16	30	30	30	19,7
50	12,1	14,5	16,3	12,9	13,6	27,6	16,4	28,8	14	16,2	16,2	16,7	12,9	17	13,4	16,6	11,1	11,9	12,9	12,7	15	13,4	14,5	13,4	16,9	16	13	26,7	26,6	26,8	16,5
13,5	8,4	10,4	12,4	9,4	9,4	23,8	9,8	24,8	10,8	13,1	12,4	13	9,1	12,8	9,8	13,1	7,8	7,8	9,1	9,1	10,8	9,8	11,4	9,8	13,1	12,4	9,1	23,1	23,1	23,1	12,7

A continuación (Tabla 11), se describen los eventos erosivos en el mes de junio, detallando la duración, velocidad máxima y la dirección de los vientos máximos.

Tabla 11. Dirección, duración y velocidades máximas de los vientos en el mes de junio

Fecha	Duración (min)	Dir. Pred.	Vel. Máx. (km h⁻¹)
01/06/2013	10	O	20,00
02/06/2013	30	S	20,00
03/06/2013	20	O	30,00
04/06/2013	10	O	20,00
05/06/2013	10	O	30,00
06/06/2013	30	O	60,00
07/06/2013	12	N	20,00
08/06/2013	15	O	60,00
09/06/2013	5	O	20,00
10/06/2013	10	N	30,00
11/06/2013	15	O	30,00
12/06/2013	20	N	30,00
13/06/2013	20	O	20,00
14/06/2013	15	N	30,00
15/06/2013	10	N	20,00
16/06/2013	5	N	30,00
17/06/2013	10	O	20,00
18/06/2013	15	N	20,00
19/06/2013	20	O	20,00
20/06/2013	15	N	20,00
21/06/2013	15	O	20,00
22/06/2013	20	N	20,00
23/06/2013	5	N	20,00
24/06/2013	20	N	20,00
25/06/2013	25	O	30,00
26/06/2013	30	O	30,00
27/06/2013	30	O	20,00
28/06/2013	30	O	60,00
29/06/2013	10	O	60,00
30/06/2013	15	O	60,00

Dir. Pred.: sentido de circulación predominante del viento medio máximo durante esa tormenta.

Vel. Máx.: velocidad máxima del viento ocurrida durante esa tormenta.

En este mes, la velocidad de los vientos máximos registrados fue de 60 km h⁻¹, grado 7 en la escala de Beaufort, este fenómeno estuvo presente 5 días del mes de junio.

La dirección y velocidad de los vientos en el mes de julio tuvieron una dirección predominante Norte/Oeste y una velocidad media máxima de 23.3 km h⁻¹ (Figura 13).

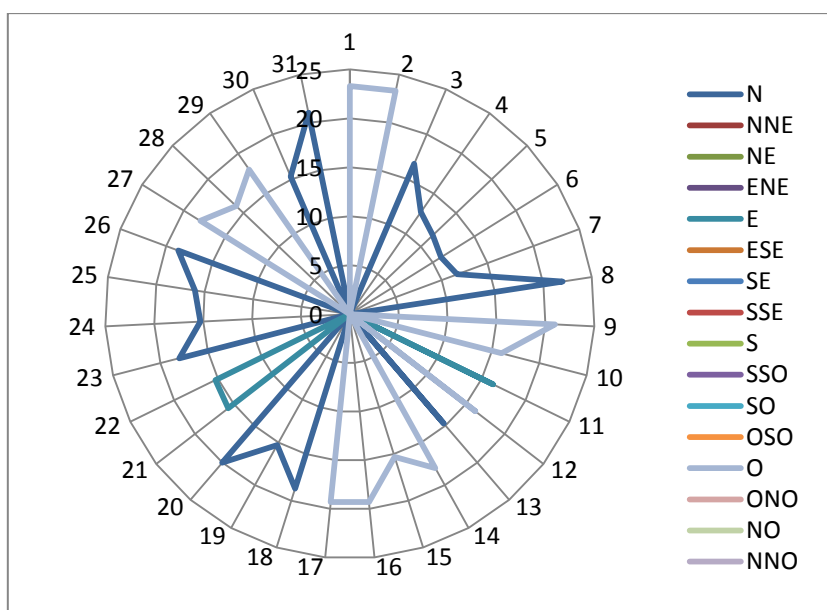


Figura 13. Dirección y velocidad de los vientos en el mes de julio por días

La velocidad del viento disminuye a medida se aproxima al nivel del suelo, esto por una fricción superficial debida a la rugosidad del terreno.

En la Tabla 11 se muestran las velocidades medias del viento a las tres alturas de medición (150; 50 y 13,5 cm).

Tabla 12. Velocidad Media del Viento (km h⁻¹) mes de julio por días a 150, 50 y 13,5 cm sobre el nivel del suelo

Altura Medición (cm)	Días																															Prom.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
150	23,3	23,3	16,7	12,7	11,7	11	11,7	22	21	16	16,3	16,2	14,7	18	15,3	19,3	19,3	18,7	15,3	20	15,7	15,3	18	15,3	16	18,7	18	16	18	15,3	21	17,1
50	20,1	20	14	10	8,9	8	8,5	19	17,8	12,6	13	13	11,9	15,1	12,1	16,1	16,1	15,5	12,2	16,2	12,3	12	14,4	12,3	12,9	15	14,8	12,5	14,8	12,1	17,8	13,9
13,5	16,5	16,4	10,4	6,4	5,3	4,4	4,9	15,4	14,2	9	9,4	9,4	8,3	11,5	8,5	12,5	12,5	11,9	8,6	12,6	8,7	8,4	10,8	8,7	9,3	11,4	11,2	8,9	11,2	8,5	14,2	10,3

A continuación (Tabla 13), se describen los eventos erosivos en el mes de julio, detallando la duración, velocidad máxima y la dirección de los vientos máximos.

Tabla 13. Dirección, duración y velocidades medias máximas de los vientos en el mes de julio

Fecha	Duración (min)	Dir. Pred.	Vel. Máx. (kmh ⁻¹)
01/07/2013	5	W	40,00
02/07/2013	5	W	40,00
03/07/2013	10	W	20,00
04/07/2013	15	W	18,00
05/07/2013	5	N	20,00
06/07/2013	10	N	18,00
07/07/2013	25	N	20,00
08/07/2013	20	W	40,00
09/07/2013	10	W	40,00
10/07/2013	20	W	20,00
11/07/2013	30	N	20,00
12/07/2013	30	W	20,00
13/07/2013	10	W	40,00
14/07/2013	20	W	40,00
15/07/2013	5	W	40,00
16/07/2013	5	E	20,00
17/07/2013	10	W	40,00
18/07/2013	5	W	60,00
19/07/2013	15	W	40,00
20/07/2013	20	W	40,00
21/07/2013	15	W	40,00
22/07/2013	10	W	40,00
23/07/2013	5	N	20,00
24/07/2013	5	W	20,00
25/07/2013	10	E	40,00
26/07/2013	10	S	60,00
27/07/2013	10	S	60,00
28/07/2013	20	W	40,00
29/07/2013	30	E	40,00
30/07/2013	30	N	40,00
31/07/2013	30	W	30,00

Dir. Pred.: sentido de circulación predominante del viento medio máximo durante esa tormenta.

Vel. Máx.: velocidad máxima del viento ocurrida durante esa tormenta.

En este mes, la velocidad de los vientos máximos registrados fue de 60 km h⁻¹, grado 7 en la escala de Beaufort, este fenómeno estuvo presente 3 días del mes de julio.

La dirección y velocidad de los vientos en el mes de agosto tuvieron una dirección predominante Oeste/Norte y una velocidad media máxima de 24.5 km h⁻¹ (Figura 14).

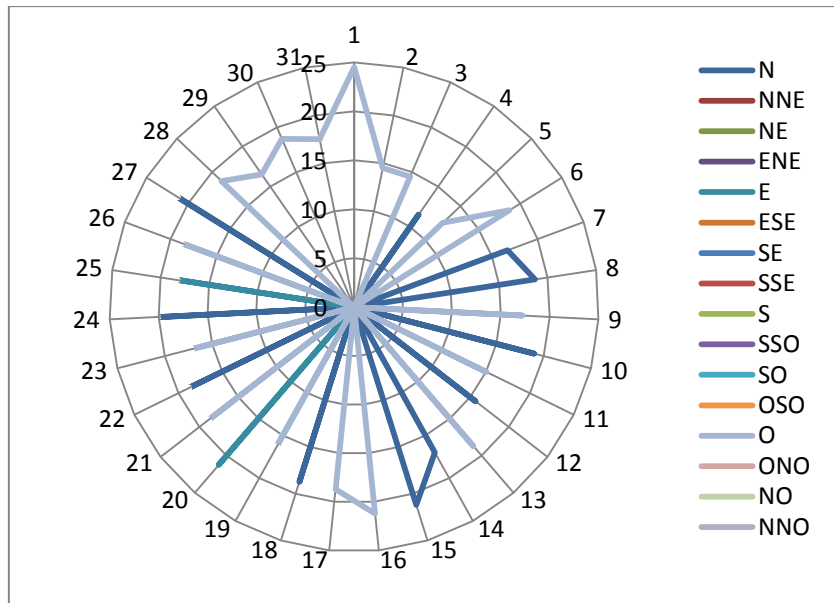


Figura 14. Dirección y velocidad de los vientos en el mes de agosto por días

La velocidad del viento disminuye a medida se aproxima al nivel del suelo, esto por una fricción superficial debida a la rugosidad del terreno.

En la Tabla 10 se muestran las velocidades medias del viento a las tres alturas de medición (150; 50 y 13,5 cm).

Tabla 14. Velocidad Media del Viento (km h⁻¹), mes de agosto por días a 150, 50 y 13,5 cm sobre el nivel del suelo

Altura Medición (cm)	Días																															Prom.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
150	24,5	14,5	14,5	11,5	12,5	18,7	16,7	18,7	17,2	19	15	15,7	18,7	17	21,2	21,2	18,7	18,7	16,2	21,2	18,7	18,7	17	20	18,2	18,7	21,2	18,7	16,5	18,7	17,5	17,9
50	21,2	11,5	11,3	8,5	9,5	15,4	13,4	15,5	14,2	15,6	12	12,5	15,6	13,9	18	17,6	15,4	15,5	13	18,2	15,9	15,5	13,6	16,6	15,1	15,5	18	15,4	13,3	15,5	14,3	14,7
13,5	17,6	7,9	7,7	4,9	5,9	11,8	9,8	11,9	10,6	12	8,4	8,9	12	10,3	14,4	14	11,8	11,9	9,4	14,6	12,3	11,9	10	13	11,5	11,9	14,4	11,8	9,7	11,9	10,7	11,1

A continuación (Tabla 15), se describen los eventos en el mes de agosto, detallando la duración, velocidad máxima y la dirección de los vientos máximos.

Tabla 15. Dirección, duración y velocidades medias máximas de los vientos en el mes de agosto

Fecha	Duración (min)	Dir. Pred.	Vel. Máx. (kmh⁻¹)
01/08/2013	10	W	40,00
02/08/2013	10	W	20,00
03/08/2013	15	W	18,00
04/08/2013	15	W	20,00
05/08/2013	20	W	20,00
06/08/2013	20	W	30,00
07/08/2013	10	N	20,00
08/08/2013	15	N	25,00
09/08/2013	15	W	30,00
10/08/2013	20	S	30,00
11/08/2013	25	W	20,00
12/08/2013	30	W	20,00
13/08/2013	30	W	20,00
14/08/2013	25	N	20,00
15/08/2013	20	W	35,00
16/08/2013	15	W	40,00
17/08/2013	15	W	30,00
18/08/2013	20	W	30,00
19/08/2013	15	W	20,00
20/08/2013	20	W	40,00
21/08/2013	20	W	30,00
22/08/2013	15	W	30,00
23/08/2013	25	W	20,00
24/08/2013	30	W	30,00
25/08/2013	30	E	25,00
26/08/2013	30	W	30,00
27/08/2013	25	W	30,00
28/08/2013	20	W	30,00
29/08/2013	20	W	20,00
30/08/2013	20	W	30,00
31/08/2013	25	W	20,00

Dir. Pred.: sentido de circulación predominante del viento medio máximo durante esa tormenta.

Vel. Máx.: velocidad máxima del viento ocurrida durante esa tormenta.

En este mes, la velocidad de los vientos máximos registrados fue de 40 km h⁻¹, grado 6 en la escala de Beaufort, este fenómeno estuvo presente 3 días del mes de agosto.

En resumen, la circulación y velocidades de los vientos de estos tres meses de estudio no fueron simples:

- a. Velocidades del viento muy variables, pero todas por encima del umbral teórico de erosión ($14,4 \text{ km h}^{-1}$).
- b. La circulación del viento fue predominantemente de los sectores Norte y Oeste, variando en escasas ocasiones del sector Este y Sud.

5.2. Análisis del material erosionado por el viento

5.2.1. Cuantificación *in situ*.

Es mayor la cantidad de material recolectado cerca de la superficie, ya que el 60% de las partículas se movilizan por saltación (Cooke; *et.al.*, 1993). En la siguiente Tabla se muestra la cantidad de material movilizado en un punto de muestreo a 13,5; 50 y 150 cm de altura con los datos promedio de los tres meses de medición.

Tabla 16. Cantidad de Material Recolectado Promedio (kg mes^{-1}) en un punto de muestreo a 13,5; 50 y 150 cm de altura en los tres meses de medición

Mes	Altura Colector (cm)	Material Recolectado (kg mes^{-1})
Junio	150	5,59
	50	26,91
	13,5	186,82
Julio	150	8,04
	50	38,73
	13,5	268,84
Agosto	150	4,83
	50	23,27
	13,5	161,58

Existe una variación entre la cantidad de material transportado en función a la altura de recolección (Figura 15).

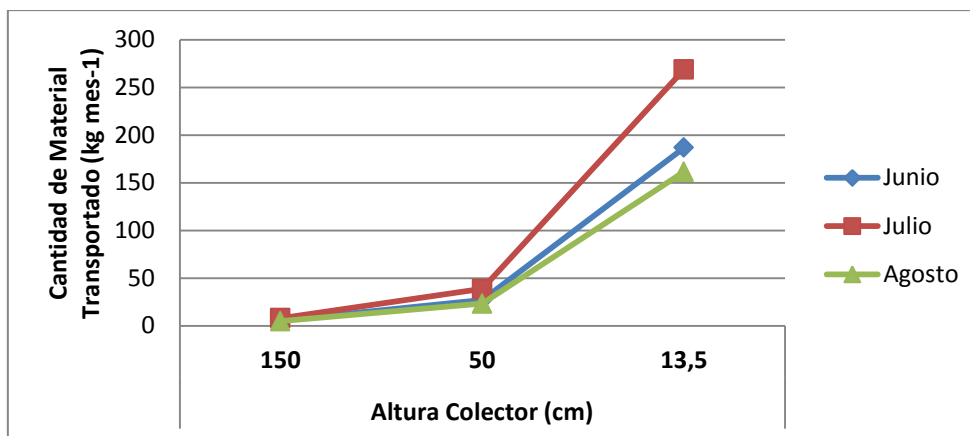


Figura 15. Cantidad de Material Transportado en función a la Altura del Colector

Para el cálculo de la erosión ocurrida en el total de la parcela, se hizo uso de la Ecuación 2, que nos da la cantidad de material transportado en un punto (Q_p) y la diferencia entre el material saliente y el entrante. Para el mes de junio, Tabla 17; julio, Tabla 18 y agosto, Tabla 19.

Tabla 17. Cantidad de material erosionado en cada punto de muestreo (Q_p) y Erosión ocurrida en el total de la parcela (Q), para el mes de junio.

Fecha	Dir. Pred. Viento	Q_p ($\text{kg m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)		Q ($\text{kg m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)	Q ($\text{Tn ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$)
		Barlovento	Sotavento		
01/06/2013	Oeste	3,128	8,012	4,884	0,488
02/06/2013	Sud	5,001	2,121	-2,880	-0,288
03/06/2013	Oeste	1,010	5,123	4,113	0,411
04/06/2013	Oeste	1,511	7,101	5,590	0,559
05/06/2013	Oeste	2,550	5,010	2,460	0,246
06/06/2013	Oeste	2,001	8,100	6,099	0,610
07/06/2013	Norte	1,400	8,100	6,700	0,670
08/06/2013	Oeste	2,111	6,021	3,910	0,391
09/06/2013	Oeste	1,100	5,323	4,223	0,422
10/06/2013	Norte	1,200	7,200	6,000	0,600
11/06/2013	Oeste	2,100	8,201	6,101	0,610
12/06/2013	Norte	2,100	7,100	5,000	0,500
13/06/2013	Oeste	2,123	6,110	3,987	0,399
14/06/2013	Norte	3,101	8,100	4,999	0,500

15/06/2013	Norte	1,100	6,100	5,000	0,500
16/06/2013	Norte	1,200	5,010	3,810	0,381
17/06/2013	Oeste	1,300	6,200	4,900	0,490
18/06/2013	Norte	1,200	5,320	4,120	0,412
19/06/2013	Oeste	1,000	5,012	4,012	0,401
20/06/2013	Norte	1,500	5,500	4,000	0,400
21/06/2013	Oeste	1,300	6,100	4,800	0,480
22/06/2013	Norte	1,000	5,500	4,500	0,450
23/06/2013	Norte	1,000	5,100	4,100	0,410
24/06/2013	Norte	2,100	5,010	2,910	0,291
25/06/2013	Oeste	3,100	7,100	4,000	0,400
26/06/2013	Oeste	2,012	5,010	2,998	0,300
27/06/2013	Oeste	2,100	5,100	3,000	0,300
28/06/2013	Oeste	2,100	6,100	4,000	0,400
29/06/2013	Oeste	3,012	9,890	6,878	0,688
30/06/2013	Oeste	2,011	7,154	5,143	0,514
SUMATORIA				129,357	12,936

Tabla 18. Cantidad de material erosionado en cada punto de muestreo (Q_p) y Erosión ocurrida en el total de la parcela (Q), para el mes de julio.

Fecha	Dir. pred. Viento	Q_p ($\text{kg m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)		Q ($\text{kg m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)	Q ($\text{Tn ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$)
		Barlovento	Sotavento		
01/07/2013	Oeste	1,100	5,321	4,221	0,422
02/07/2013	Oeste	1,010	4,032	3,022	0,302
03/07/2013	Oeste	1,000	6,000	5,000	0,500
04/07/2013	Oeste	2,200	7,500	5,300	0,530
05/07/2013	Norte	1,400	4,100	2,700	0,270
06/07/2013	Norte	2,387	7,924	5,537	0,554
07/07/2013	Norte	6,015	12,100	6,085	0,609
08/07/2013	Oeste	5,020	11,100	6,080	0,608
09/07/2013	Oeste	5,200	9,734	4,534	0,453
10/07/2013	Oeste	6,190	12,010	5,820	0,582
11/07/2013	Norte	5,100	12,060	6,960	0,696
12/07/2013	Oeste	5,200	13,100	7,900	0,790
13/07/2013	Oeste	3,145	7,700	4,555	0,456
14/07/2013	Oeste	5,600	12,300	6,700	0,670
15/07/2013	Oeste	2,890	5,142	2,252	0,225
16/07/2013	Este	3,054	1,010	-2,044	-0,204
17/07/2013	Oeste	3,987	8,898	4,911	0,491

18/07/2013	Oeste	5,897	12,500	6,603	0,660
19/07/2013	Oeste	5,100	10,100	5,000	0,500
20/07/2013	Oeste	5,500	11,110	5,610	0,561
21/07/2013	Oeste	6,680	11,120	4,440	0,444
22/07/2013	Oeste	6,155	10,000	3,845	0,385
23/07/2013	Norte	0,555	1,221	0,666	0,067
24/07/2013	Oeste	0,578	1,012	0,434	0,043
25/07/2013	Este	12,500	5,781	-6,719	-0,672
26/07/2013	Sud	12,110	5,110	-7,000	-0,700
27/07/2013	Sud	16,788	7,712	-9,076	-0,908
28/07/2013	Oeste	7,178	15,671	8,493	0,849
29/07/2013	Este	12,610	7,258	-5,352	-0,535
30/07/2013	Norte	8,971	18,121	9,150	0,915
31/07/2013	Oeste	8,878	12,100	3,222	0,322
SUMATORIA				98,849	9,885

Tabla 19. Cantidad de material erosionado en cada punto de muestreo (Q_p) y Erosión ocurrida en el total de la parcela (Q), para el mes de agosto.

Fecha	Dir. pred. Viento	Q_p ($\text{kg m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)		Q ($\text{kg m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)	Q ($\text{Tn ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$)
		Barlovento	Sotavento		
01/08/2013	Oeste	1,500	4,154	2,654	0,265
02/08/2013	Oeste	1,111	3,014	1,903	0,190
03/08/2013	Oeste	1,012	3,500	2,488	0,249
04/08/2013	Oeste	1,500	4,500	3,000	0,300
05/08/2013	Oeste	2,000	4,500	2,500	0,250
06/08/2013	Oeste	2,500	6,000	3,500	0,350
07/08/2013	Norte	2,100	4,400	2,300	0,230
08/08/2013	Norte	1,500	3,500	2,000	0,200
09/08/2013	Oeste	2,000	4,500	2,500	0,250
10/08/2013	Sud	5,500	2,500	-3,000	-0,300
11/08/2013	Oeste	2,500	6,000	3,500	0,350
12/08/2013	Oeste	3,001	7,000	3,999	0,400
13/08/2013	Oeste	2,500	6,500	4,000	0,400
14/08/2013	Norte	2,500	5,000	2,500	0,250
15/08/2013	Oeste	2,000	5,500	3,500	0,350
16/08/2013	Oeste	1,000	3,000	2,000	0,200
17/08/2013	Oeste	2,000	4,500	2,500	0,250
18/08/2013	Oeste	2,500	6,000	3,500	0,350

19/08/2013	Oeste	2,000	4,798	2,798	0,280
20/08/2013	Oeste	2,245	4,500	2,255	0,226
21/08/2013	Oeste	2,500	8,000	5,500	0,550
22/08/2013	Oeste	2,500	4,500	2,000	0,200
23/08/2013	Oeste	2,500	6,500	4,000	0,400
24/08/2013	Oeste	3,874	8,500	4,626	0,463
25/08/2013	Este	5,500	2,221	-3,279	-0,328
26/08/2013	Oeste	3,500	7,500	4,000	0,400
27/08/2013	Oeste	2,500	5,500	3,000	0,300
28/08/2013	Oeste	2,500	6,500	4,000	0,400
29/08/2013	Oeste	2,500	6,000	3,500	0,350
30/08/2013	Oeste	2,500	7,500	5,000	0,500
31/08/2013	Oeste	2,500	5,500	3,000	0,300
SUMATORIA				85,744	8,574

En resumen, la Erosión Eólica fue de 31,39 Tn ha⁻¹ haciendo un promedio de los tres meses de estudio, lo que significó una pérdida del horizonte "A" equivalente a 0,18 cm ha⁻¹ Tabla 20.

Tabla 20. Erosión Total (Q), en los tres meses de estudio.

MES	Q (Tn ha ⁻¹ mes ⁻¹)
JUNIO	12,93
JULIO	9,88
AGOSTO	8,57
TOTAL	31,39

5.2.2. Proyección mediante la Ecuación de la Erosión Eólica (*Wind Erosion Equation, WEQ*).

Se han utilizado una serie de métodos para alcanzar la solución de la *WEQ* utilizando gráficas, figuras, cuadros, reglas de cálculo, etc.

La interrelación entre las variables es complicada, para esto se ha hecho uso de las siguientes series de ecuaciones para resolver la *WEQ*(Skidmore, 1994).

El primer paso es determinar la erodabilidad del suelo, I .

$$E1 = I \quad (15)$$

Representación de la rugosidad de la cresta:

$$E2 = IK \quad (16)$$

El factor climático:

$$E3 = IKC \quad (17)$$

La longitud de campo:

$$E4 = (WF^{0.348} + E3^{0.348} - E2^{0.348})^{2.87} \quad (18)$$

Donde:

$$WF = E2[1 - 0.122(L/L_0)^{-0.383}]exp(-3.33L/L_0) \quad (19)$$

y:

$$WL = 1.56 * 10^6 (E2)^{-1.26} exp(-0.00156E2) \quad (20)$$

Donde WF es el factor de la longitud de campo y representa la influencia de la longitud en el cálculo de la reducción de la erosión y L_0 es la longitud máxima del campo para calcular la reducción de la erosión eólica.

La función de la cobertura vegetal equivalente se expresa de la siguiente manera:

$$E5 = \Psi_1 E4^{\Psi_2} \quad (21)$$

Los parámetros Ψ_1 y Ψ_2 son las funciones del factor V tal como lo describe Williams (1984).

$$\Psi_1 = exp(-0.759V - 4.74 * 10^{-2}V^2 + 2.95 * 10^{-4}V^5) \quad (22)$$

$$\Psi_2 = 1 + 8.93 * 10^{-2}V + 8.51 * 10^{-3}V^2 - 1.5 * 10^{-5}V^3 \quad (23)$$

Donde V está ($mg\ ha^{-1}$) determinada por la ecuación 11.

Entonces, se calculó la erodabilidad del suelo (I), utilizando la ecuación 4. El factor (K) toma en cuenta la resistencia que tiene las crestas a la erosión eólica, este factor está representado por la relación entre la altura y el espacio de la cresta. Debido a que no existían crestas establecidas en el área estudiada, se asignó el valor de 1 al factor K, por ello, el valor de la erodabilidad (I) no se vió afectada por la rugosidad.

El factor climático (C) fue calculado mediante la ecuación 12. Sin embargo C se basa en la velocidad de la erosión eólica y representa la influencia de la precipitación, la evapotranspiración potencial y la velocidad del viento.

La erosión eólica esperada en la parcela, con respecto al suelo existente y a las condiciones climáticas se obtuvo a partir de las ecuaciones 16 y 17 (Tabla 21).

Tabla 21. Evaluación de la Erosión Eólica potencial (E3) de acuerdo a la rugosidad de la superficie del suelo (K) y el clima de la zona de estudio (C).

Lugar	E1=I Tn ha ⁻¹ año ⁻¹	K	E2=IxK Tn ha ⁻¹ año ⁻¹	C	E3=E2xC Tn ha ⁻¹ año ⁻¹
Quillacas	353,7	1	353,7	0,45	159,17

La erosión eólica esperada anualmente estuvo entre 159,17 Tn ha⁻¹ año⁻¹.

De acuerdo a la clasificación establecida por la FAO (2000), la erosión eólica prevista fue alta. (Tabla 22).

Tabla 22. Clases de erosión (FAO, 2000).

Clases	Pérdida (Tn ha ⁻¹ año ⁻¹)
Erosión ausente o leve	<10
Moderada	10 – 50
Alta	50 – 200
Muy alta	>200

Estos valores altos de erosión eólica prevista, son explicados ya sea por la gravedad de los factores climáticos y por la alta erodabilidad de los suelos salinos débilmente agregados, que fácilmente pueden ser llevadas por el viento cuando se seca la superficie. Además, las cantidades pequeñas de los residuos del cultivo junto con los

extensos campos desprotegidos podrían definitivamente aumentar el riesgo de erosión en el área de estudio en ausencia de algunas prácticas de control.

5.3. Caracterización de los Sistemas de Producción

Actualmente, en la región se produce bajo tres sistemas: Sistema Tradicional para auto consumo y de bajos insumos, Sistema Convencional de altos insumos y Sistema Orgánico para exportación. En la siguiente Tabla se explica las características de cada sistema:

Tabla 23. Clasificación de los Sistemas de Producción en la región de estudio

	Sistema Tradicional para autoconsumo y de bajos insumos	Sistema convencional de altos insumos	Sistema Orgánico para exportación
Tipo de cultivo	Agricultura de subsistencia con venta o intercambio mínimo en el mercado	Agricultura para comercialización nacional e internacional	Agricultura para comercialización internacional
Ubicación de cultivo	Ladera	Ladera y planicie	Planicie y en menor cantidad ladera
Rotación de cultivos	Papa/descanso/quinua	Sin rotación (quinua/quinua)	Quinua/descanso/quinua
Descanso	8 – 10 años	2 años	2 años
Cría de ganado	Actividad principal	Actividad secundaria	Actividad secundaria
Rendimiento promedio	800 kg/ha (quinua)	500 kg/ha (quinua)	600 kg/ha (quinua)
Arado	Manual	Mecanizado (siembra y barbecho)	Mecanizado (barbecho)
Fertilización	Abono de camélidos	No se abona	Abono de camélidos
Insumos químicos	Ninguno	Plaguicidas	Insumos biológicos
Precio de la producción	Elevado	Elevado	Elevado

5.3.1. Caracterización del Sistema Productivo de la Quinua

La quinua es el cultivo más importante en la región, en consecuencia se ha podido llegar a la siguiente caracterización del sistema productivo de la quinua:

a. Laboreo del Suelo

Se realiza de manera mecanizada, con tractor y arado de discos, esto principalmente para el barbechado y siembra del cultivo. En las laderas se utiliza licuana.

- **Barbechado**, generalmente de enero a marzo, con maquinaria agrícola hasta una profundidad de 30 cm, en terrenos de pie de monte y planicies.
- **Siembra**, con ayuda de maquinaria agrícola (tractor y arado de discos), esta actividad empieza a partir del 14 de septiembre y se extiende hasta el mes de octubre. En las laderas la siembra manual se la realiza con licuana a una profundidad de 10 a 15 cm.

b. Labores Culturales

Entre las labores culturales se tienen:

- **Deshierbes**, se realiza con azadón o licuana.
- **Aporques**, labor necesaria para reforzar el soporte de las plantas, debido a los fuertes vientos.
- **Control de plagas**, se realiza el control químico, orgánico, cultural y etológico.

c. Cosecha

Esta labor es realizada desde el mes de marzo hasta mayo con implementos agrícolas manuales como azadón, hoz, machete y moto segadoras. Aunque el arrancado de toda la planta de quinua (desde las raíces) está siendo evitando, gran parte de la superficie del terreno queda descubierta y expuesta a las inclemencias del clima y agentes de la erosión. Esto debido a que los rastrojos de quinua son utilizados con preferencia para otros fines (forrajes, fabricación de lejía y otros) (Fautapo, 2008) y no para proteger los suelos.

d. Labores Post Cosecha

Las labores post cosecha son: trillado, cernido, venteado y almacenado.

- **Trillado**, se realiza de dos maneras: la primera es de forma semimecanizada, esto es el apisonado con el paso continuo de una movilidad. La segunda es de forma manual, pisando las quinuas secas con zapatos o botas.
- **Cernido**, es realizado con la ayuda cernidores grandes y pequeños, para separar los tallos pequeños que quedaron después del pisado.
- **Venteado**, complementaria al cernido, se realiza para separar el jipi de los granos para luego clasificarlos de acuerdo a su tamaño, en grano de primera, segunda y tercera.
- **Almacenado**, el grano es almacenado en ambientes aireados, secos y frescos.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Se puede concluir que:

- La construcción de la torre de medición de viento, con materiales baratos y reciclados, reduce de manera significativa los costos, ya que una torre de similares características tendría un coste de entre Bs. 2700 a 3000, en comparación con la torre construida artesanalmente, que tuvo un costo aproximado de construcción de Bs. 1000. Por otro lado, las diferencias entre velocidades que presentan la torre de viento artesanal y un anemómetro profesional es menor al 2%.
- La dirección de los vientos predominantes en la zona son Norte/Oeste, donde además todos los días de los tres meses de estudio se registraron vientos mayores a $14,4 \text{ km h}^{-1}$, esto significa que, los vientos sobrepasan la velocidad umbral teórica de erosión. No existiendo una estación meteorológica cerca de la localidad de estudio, estos datos y resultados son en consecuencia los únicos.
- A pesar de la creencia de que en el país, los vientos más fuertes se registraban en el mes de agosto, con el presente estudio se puso en evidencia que dicha temporada de vientos fuertes en la zona están presentes en el mes de junio con una velocidad máxima de 60 km h^{-1} .
- La construcción de los colectores *Big Spring Number Eight (BSNE)*, tuvo un costo de Bs. 25 por unidad, haciendo un sub total de Bs. 300 el grupo de muestreo y el mástil, con un total de Bs. 1200. Estos colectores no se los encuentra a la venta.
- Las $31,39 \text{ Tn ha}^{-1}$ de suelo transportado durante los tres meses de estudio, significan a su vez $0,18 \text{ cm ha}^{-1}$ de suelo, estas cifras ubican a la región en un grado de erosión eólica de Moderada a Alta. Según un estudio realizado en la

estancia Saitoco, departamento de Oruro por Cadena, *et.al.*(2013) la cantidad de suelo que es transportado está entre 19 y 47,7 Tn ha⁻¹.

- La cantidad de material transportado desde o hacia la parcela de estudio, no sólo dependió del porcentaje de vientos erosivos, sino de su combinación con la dirección y velocidad del viento predominante. En tanto, la circulación de los vientos con predominancia de Norte/Oeste fue causante de la pérdida de material, su disminución y posterior aumento de los vientos Sud/Este la erosión mermó e incluso se tuvieron aportes de material de sectores externos a la parcela de medición.
- La Ecuación de la Erosión Eólica (*Wind Erosion Equation, WEQ*), modelo de estimación del transporte y pérdida de suelo, para el año 2013 proyecta una pérdida de suelo de 159,17 Tn ha⁻¹ año⁻¹.
- Igual que en la cuantificación *in situ*, la Ecuación de la Erosión Eólica, pone en evidencia la susceptibilidad de los suelos del lugar a la erosión eólica y calificándola en un grado de erosión eólica de Alta.
- La expansión de los cultivos de quinua en la zona, representa desde el punto de vista de la sostenibilidad, un elevado riesgo a la reducción de la resiliencia de las condiciones naturales favorables, debido a la reducción considerable del tiempo de barbecho, así como el incremento de la exposición del suelo, a causa de nuevas prácticas agrícolas, conlleva mayores tasa de erosividad.
- Las prácticas convencionales de manejo del cultivo de quinua: mecanizado, monocultivo, aplicaciones de estiércol en menores dosis y al voleo, disminución del periodo de descanso, incide directamente en la erodabilidad de los suelos de la región.

6.2. Recomendaciones

De este primer trabajo de investigación sobre la erosión eólica en el Santuario de Quillacas, debería tomarse en cuenta la necesidad de:

- Determinar la velocidad umbral de los vientos del lugar.
- Realizar estudios más profundos sobre los factores rugosidad (K), clima (C) y cobertura vegetal (V) en el lugar, por requerir mayores medios de investigación. Esta información puede ser importante para prescribir métodos de labranza y control de la erosión.
- Es necesaria una mayor información sobre la total o parcial protección del suelo por barreras vivas.
- Llevar a cabo el estudio en otras localidades de la región para así para determinar la dirección prevalente de los vientos erosivos.
- Mayor información entre la humedad del suelo y las condiciones climáticas para mejorar el factor climático (C).
- El índice de Thorntwaite puede ser considerado solamente como un estimado de las condiciones de humedad.
- El factor climático (C), debería ser computado mensualmente o por temporadas, para permitir mejores evaluaciones en corto tiempo o periodos altamente erosivos.
- Instalación de estaciones meteorológicas de primer nivel, en lugares clave para la facilitar los cálculos y toma de decisiones, ya sea por parte de la Universidad Estatal o del SENAMHI.
- No dejar el suelo descubierto o desnudo en temporadas secas ya que los vientos con gran fuerza erosiva, incrementarían la erosión eólica.
- Realizar un análisis granulométrico a las partículas atrapadas a las diferentes alturas de recolección.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acho, J. (2008). Sucesión vegetal post-cultivo en la región intersalar del Altiplano boliviano. Facultad de Biología. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz-Bolivia. 2008.

Aimar, S. y Buschiazzo, D. (1996). Cuantificaciones de campo de la erosión eólica en suelos de la region semiárida pampeana Central Argentina. Actas del XV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Santa Rosa.

Altieri, W. (1997). Organic Production. Thats Real. Recuperado el 20 de mayo de 2013. http://www.beensoil.org/documents_129hdf.com

Armbrust, D.; Chepil, W. y Siddoway, F. (1964). Effects of ridges on erosion of soil by wind. Soil Sci. Soc. Proc. 28:557-560.

Armbrust, D. (1984). Wind sandblast injury to field crops: effects on plant age. Agronomy Journal , 76.

Aroni, G. y Bonifacio, A. (2003). Erosión de Suelos en el Altiplano Sur: Camino a la desertificación. Fundación PROINPA. Cochabamba: Fundación PROINPA.

Buschiazzo, D.; Quiroga, A. y Stahr, K. (1991). Patterns of organic matter distribution in soils of the semiarid argentinean Pampas. Z. Pflanzenernahr.Bodenk, 154: 437-441.

Cadena, F.; Molina, E.; Huaycho, H. y Calderon, S. (2013). Erosión Eólica bajo diferentes coberturas vegetales relacionadas al sistema de producción de quinua en la estancia Saitoco. Proy. ANDESCROP – Universidad Mayor de San Andrés. Recuperado el 25 de abril de 2013. <http://balcon.magap.gob.ec/mag01/magapaldia/>

Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles (CPTS). (2008) Alianza Quinua. Bolivia. Recuperado el 20 de mayo de 2013. <http://www.cpts.org/pdf/AlianzaQuinuaDescrip.pdf>

Chepil, W. (1945). Dynamics of wind erosion: I. Nature of movement of soil by wind. Kansas City: Soil Sci.

Chepil, W. (1951). Properties of Soil Which Influence Wind Erosion: III. Effect of Apparent Density on Erodibility. Kansas City: Soil Science.

Chepil, W. (1955). Factors that influence clod structure and erodibility of soil by wind. Kansas City: Soil Science.

Chepil, W. (1962). A compact rotary sieve and the importance of dry sieving in physical soil analysis. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 26:4-6.

Chepil, W.; Siddoway, S. y Armbrust, D. (1962). Climatic factor for estimating wind erodibility of farm fields. J Soil Water Conserv. 17: 162-165 pp.

Cooke, R.; Warren, A. y Goudir, A. (1993). Desert geomorphology. St. Ives, United Kingdom: UCL Press.

De Oro, L. y Buschiazzo, D. (2009). Threshold wind velocity as index of soil susceptibility to wind erosion under variable climatic conditions. Land Degradation & Development, 20: 14–21.

Dregne, H. (1991). A new assessment of the World status of desertification. UNEP, Desertification Control Buletin , 6-18.

Duijts, C. (2012). Modelling aeolian sediment transport in the Badia of Jordan. Department of Physical Geography. Faculty of Geosciences. Utrecht University. 2012.

ECOCLIMA. (2011). Producción Orgánica. Recuperado el 23 de mayo de 2013. http://www.ecoclima/rev_graf/doc_12_e1

Egger, R. (1981). Sistemas de Producción Agrícola. Agricultural Magazine. USDA. 1981.

Eltaif, N. y Gharaibeh, M. (2011). Aplicación de un modelo matemático para predecir y reducción de la erosión eólica en tierras áridas no protegidas. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, vol. XVII, 2011, pp. 195-206, Universidad Autónoma Chapingo, México.

FAO. (2000). Erosión de suelos en América Latina. Recuperado el 25 de abril de 2013. <http://www.fao.org/documents/>.

FAO. (2001). Qué es la Agricultura Orgánica?. Recuperado el 10 de mayo de 2013. <http://www.fao.org/organicag/>.

Fundación AUTAPO. (2008). Programa Quinoa Altiplano Sur, 2008. Informe: Fertilidad, uso y manejo de suelos en la zona del Intersalar, departamentos de: Oruro y Potosí. Oruro - Bolivia. Pág. 5 - 28, 40 – 58, 98

Fundación AUTAPO. (2008). Fertilidad, uso y manejo de suelos en la zona del Intersalar, departamentos de Oruro y Potosí. Oruro: Fautapo.

Fryrear, D. (1986). A Field Dust Sampler. Journal of Soil and Water Conservation, 41(2):117-120.

Fryrear, D. (1990). Wind erosion: mechanics, prediction, and control. Adv. Soil Sci. 13:187-199.

Fryrear, D. (1994). Computing the wind erodible fraction of soils. J. Soil Water Conserv. 49:183-188

Fryrear, D. (1995). Soil losses by wind erosion. Soil Sci. Soc. Am. J. 59:668-672.

Fryrear, D. y Saleh, A. (1993). Field wind erosion: vertical distribution. Soil Science, 155: 294-300.

Gómez, P. (1996). Agricultura Orgánica. Experiencia Dinmarquesa. En Campo y Tecnología. No. 29 Ed. INTA. Buenos Aires. República Argentina.

Hagen, J. (1984). Soil aggregate abrasion by impacting sand and soil particles. Kansas City: Trans. ASAE.

Hinojosa, E. y Rojas, D. (2009). La Erosión Eólica en el Departamento de Santa Cruz, Bolivia. Centro de Investigaciones y Manejo de Recursos Naturales (CIMAR). Santa Cruz, Bolivia.

Hurtado, P. (2012). Orientación de la Siembra de Girasol: Efectos sobre la Erosión Eólica y el Rendimiento del Cultivo en el semiárido de San Luis. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. 2012.

Lyles, L. y Allison, B. (1981). Equivalent wind-erosion protection from selected crop residues. Transactions of the ASAE. 24: 405-408 pp.

Lyles, L., y Tatarko, J. (1986). Wind erosion effects on soil texture and organic matter. Journal Soil and Water Conservation.

Malina, F. (1941). Recent developments in the dynamics of wind erosion. Am. Geophys. Union Trans, 262-284.

Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente de Bolivia. (1996). Mapa preliminar de desertificación de tierras: Región árida, Semiárida y Subhúmeda Seca de Bolivia. La Paz-Bolivia. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente de Bolivia.

Miranda, R. (2004). Edafología: Propiedades Físicas y Químicas de los Suelos. Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de Agronomía. 2004.

Montes de Oca, Ismael. (1989). Geografía y Recursos Naturales de Bolivia. Academia Nacional de Ciencias. La Paz-Bolivia. 1989.

Orsag, V.; León, L.; Pacosaca, O. y Castro, E. (2013). Evaluación de la fertilidad de los suelos para la producción sostenible de quinua. T'inkazos, número 33, 2013 pp. 149-161, ISSN 1990-7451.

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2002). Desertificación de tierras secas. Recuperado el 29 de abril de 2013. <http://www.un.org/doc10a.20/20>

Plan de Desarrollo Municipal, Santuario de Quillacas. (2005-2009). Honorable Alcaldía Municipal del Santuario de Quillacas. 2005.

Parigiani, J. (2009). Modeling wind-blown sediment transport in the agricultural valleys of southern patagonia. Holanda: Wageningen University.

Presley, D. y Tatarko, J. (2009). Principles of wind erosion and its control. Kansas State University, 2009.

Ramos, C. (2000). La Agricultura Ecológica de la Quinoa como alternativa a los Impactos de Desertización en el Altiplano Sur. Tesis de Grado. Universidad Mayor de San Andrés.

Rengifo, G. (1987). La Agricultura Tradicional de los Andes. Ed. Horizonte. Lima. Perú.

Rostagno, C.; del Valle, H. y Buschiazco, D. (2004). La Erosión Eólica. Recuperado el 27 de abril de 2013. http://www.conicet.gov.ar/new_sp/detalle.

Ruthenberg, L. (1971). La agricultura en el mundo. Ed. Mundial. Madrid, España. 1971.

Saleh, A. (1994). Measuring and predicting ridge-orientation effect on soil surface roughness. Soil Sci Soc Am J. 58: pp. 1228-1230.

Seoáñez Calvo, M. (2002). Los vientos. Tratado de la contaminación atmosférica:problemas, tratamiento y gestión.Ediciones Mundi-Prensa. ISBN 84-8476-035-9.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, SENAMHI. (2013). SISMET. Recuperado el 27 de abril de 2013. <http://www.senamhi.gob.bo/sismet/index.php>

Shao, Y.; McTainsh, G. y Leys, J. (1993). Efficiencies of sediment samplers for wind erosion measurement. *Australian Journal Soil Research*, 31:519-531.

Shao, Y. (2000). *Physics and Modelling of Wind Erosion*. Kluwer Academic Publishers, Londres, 2000.

Stout, J. y Zobeck, T. (1996). The Wolfforth field experiment: a wind erosion study. *Soil Science*, 161: 616-632.

Siddoway, F.; Chepil, W. y Armbrust, D. (1965). Effect of kind, mount, and placement of residue on wind erosion control. *Transactions of the ASAE*.

Silva, M. (2010). *Producción Orgánica*. Recuperado el 18 de mayo de 2013. <http://www.produccionorganicaoceania.blogspot>.

Skidmore, E. (1976). Barrier induced microclimate and its influence on growth and yield of winter wheat. *Shelterbelts on the Great Plains*, Denver. University of Montana Press, Great Plains Agricultural Council Publication.

Skidmore, E. (1994). *Wind Erosion*. *Soil Erosión Research Methods*, 2nd Edition. Delray Beach, Florida: St. Lucie Press. 265-293 pp.

Skidmore, E.; Fisher, P. y Woodruff, N. (1970). Wind erosion equation: Computer solution and application. *Soil Sci Soc Am Proc*. 34: 931-935.

Skidmore, E. y van Dock, S. (2003). *Soil Erosion and Conservation*. *Handbook of Processes and Modeling in the Soil-Plant System*. Food Product Press and The Haworth References Press.

Sterk, G. (2011). *Quantification of wind erosion in relation to land management in the badia of jordan*. Jordania, Jordania: Research Proposal.

USDA-Agricultural Research Service. (1961). A universal equation for measuring wind erosion. Bull. USDA- ARS. 22-69.

Wilson, S. y Cooke, R. (1980). Wind erosion. Pp: 217-251. J. Wiley y Sons Ltd. Nueva York.

Willi, E. (1987). Meteorología para aviadores. Curso para pilotos, navegantes y Agentes técnicos de explotación. Editorial: Paraninfo - Madrid.

Williams, R.; Jones, C. y Dyke, P. (1984). Modeling approach to determining the relationship between erosión and soil productivity. Trans Am Soc Agric Eng (ASAE). 27: 129-144.

Woodruff, N. y Siddoway, F. (1965). A wind erosion equation. Soil Sci Soc Am Proc. 29: 602-608 pp.

Wordpress. (2013). Beaufort Scale. Recuperado el 18 de mayo de 2013. <http://www.es.wordpress.com/docs/01beau/scale.com>

Zachar, D. (1982). Soil Erosion. Developments in Soil Sciences 10. Elsevier, Amsterdam. 547 p.

Zhao, H.; Zhou, R.; Zhang, T y Zhao, X. (2006). Physical principle of wind erosion on sandy land surface in southern Beijing. J Geographical Sciences, 16(4):487-494.

Zingg, A. (1953). Wind tunnel studies if the movement of sedimentary material. Proc. 5th Hydraulic Conf. Bull.

ANEXOS

ANÁLISIS DE SUELOS

Características Físicas

Horizonte	Profundidad (cm)	Textura			Clase Textural	%Grava	Dap (g cm ⁻³)
		%A	%L	%Y			
Ap	0 – 15	90,2	2,0	7,8	Arenoso	30	1,72
B	15 – 36	88,2	2,0	9,8	Arenoso	5	1,70
C	>36	81,5	10,0	8,5	Areno Francoso	15	1,59

Características Químicas

Horizonte	Prof. (cm)	pH 1:25		CE (μS/cm)	Cationes Intercambiables cmol(+)/kg ⁻¹				CIC cmol (+)/kg ⁻¹
		H ₂ O	KCl		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁻	
Ap	0 – 15	8,1	7,5	51,0	2,22	0,68	0,36	0,27	3,55
B	15 – 36	7,9	7,4	65,7	2,20	1,40	0,37	0,31	4,33
C	>36	8,0	7,3	56,9	3,55	1,96	0,43	0,26	6,11

CONSTRUCCION ANEMÓMETRO DE CAZOLETAS

Para la construcción del anemómetro de cazoletas necesitamos los siguientes materiales:

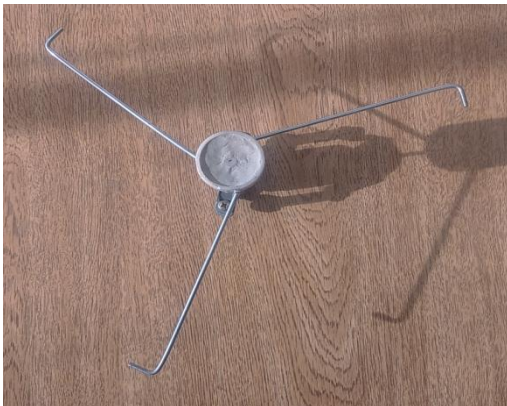
- 1 motor con aspas
- 3 radios de bicicleta
- 3 pernos pequeños
- 3 pocillos
- 1 botella pet pequeña
- 1 cañería de PVC
- 1 velocímetro de bicicleta
- 1 poxilina
- 1 clavo
- 1 alicate



Procedimiento:

Cortar las aspas al motor, desmontar el rotor del sistema, a continuación, con un clavo caliente hacer tres agujeros en el eje donde estaban las aspas.

Cortar la punta de los radios, doblamos el extremo final donde se encuentra la rosca, después insertamos en el eje e inmediatamente le aplicamos poxilina, esperar a que endurezca.



Agujerear los pocillos y fijarlos al sistema, finalmente colocar el imán con una distancia no mayor a 5 mm al sensor.